

LES FERMES VERTICALES ET L'AGROÉCOLOGIE :
DES RÉPONSES SYSTÉMIQUES ET DURABLES AUX DÉFIS ALIMENTAIRES DE DEMAIN?

Par
Gloria Grenier-Mailhot

Essai présenté au Centre universitaire de formation
en environnement et développement durable en vue
de l'obtention du grade de maîtrise en environnement (M. Env.)

Sous la direction de Pierre Etcheverry

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Juillet 2020

SOMMAIRE

Mots clés : Agriculture industrielle, sécurité alimentaire, défis alimentaires, *hightech*, *lowtech*, fermes verticales, permaculture, agroécologie, développement durable, pensée systémique.

La sécurité alimentaire mondiale, compromise par le système agricole dominant, préoccupe de plus en plus. Les cinq défis alimentaires de la FAO exposent les symptômes sur lesquels les solutions devront se pencher. Le système alimentaire devra entamer une transition permettant de faire face à la demande croissante, éradiquer la faim et l'insécurité alimentaire, améliorer la durabilité et l'usage des ressources naturelles, s'adapter aux changements climatiques et assurer leurs mitigations.

Diverses solutions visant à contrer la problématique d'insécurité alimentaire gagnent du terrain. Elles s'inscrivent dans deux paradigmes technologiques distincts, soient les *hightech* et les *lowtech*. Dans le premier cas, une des alternatives proposées réside dans l'essor des fermes verticales, où l'objectif est d'assurer une production soutenue par le recours aux technologies permettant un contrôle paramétré de la production et un usage restreint de ressources. Dans le spectre des *lowtech*, l'agroécologie apparaît comme une pratique visant la gestion écologique et sociale des espaces cultivés via l'application de techniques reposant sur les processus opérant naturellement dans les écosystèmes.

Le modèle de développement sur lequel les sociétés dominantes actuelles reposent, induit une résolution de problèmes permettant très difficilement d'atteindre les couches systémiques profondes d'un réel développement durable. L'objectif de cet essai est alors de démontrer le niveau de réponse de ces deux options quant à leur capacité à faire face durablement aux défis alimentaires. Pour ce faire, une analyse critique réalisée en deux temps permet de répondre à l'objectif. On tente d'abord d'évaluer si les fermes verticales et l'agroécologie peuvent répondre aux symptômes visibles de la problématique, soit ceux rattachés aux défis alimentaires. Se limiter à cette seule perspective pourrait toutefois conduire à la répétition des mécanismes de résolution de problème du développement actuel. C'est pourquoi on veille ensuite à confronter les significations ressortant du premier niveau d'analyse à une approche systémique.

Il en a été conclu que le type de fermes verticales étudié dans le cadre de ce travail, les *Farmscrapers*, ne répond pas durablement aux défis alimentaires. Les bénéfices qui y sont promis sont trop insuffisants pour justifier les impacts d'une telle artificialisation. Inversement, l'agroécologie répond durablement à ces défis puisque son caractère holistique en fait une alternative naturellement adaptée aux causes systémiques de la problématique. Le recours ponctuel aux fermes verticales, moyennant plusieurs ajustements, arrimé à un déploiement massif et intégré de l'agroécologie permettrait d'assurer la sécurité alimentaire mondiale de façon systémique et durable. L'agriculture pourrait-elle devenir le vecteur d'une transition plus large permettant à l'humanité de s'inscrire dans un mode de développement permacole?

REMERCIEMENTS

Cet essai représente l'aboutissement d'un long cheminement académique, mais surtout le point culminant d'un grand défi personnel dont je n'aurais su traverser les méandres sans la généreuse contribution d'individus tout simplement extraordinaires.

Je tiens d'abord à remercier mon directeur de rédaction, Pierre Etcheverry, pour m'avoir si habilement accompagnée et soutenue dans cette épreuve. Votre ouverture, votre confiance et votre grande humanité m'ont été d'un support indispensable. Merci pour votre belle sensibilité dans nos échanges et votre bienveillance pendant les moments nuageux. Merci également à Judith Vien pour son encadrement ainsi qu'à tous les enseignant-e-s du CUFE qui ont marqué de près ou de loin mon passage à la maîtrise.

De sincères remerciements à Léandre, Camille, Mélanie et Gabriel. Grâce à vos relectures, commentaires et propositions, vous avez contribué à bonifier le regard philosophique, la rigueur scientifique, la qualité syntaxique et les recommandations pratiques de ce travail. Je remercie aussi Annie et toute-s mes collègues de Croquarium de m'avoir encouragée à persévérer et d'avoir fait preuve d'une si grande flexibilité.

À mes très chers colocos du Havre! Ariane, Miguel, Laurie, Émi, Sandy, Louis-Gabriel, Colin, Karma et Ché; vous m'avez entourée, conseillée, rassurée, divertie et écoutée sans relâche, et ce, même dans le contexte rocambolesque du confinement et de la pandémie!

Un immense merci à tous mes proches, plus spécialement à Émeraude, Fiona et Lucie qui m'ont apporté un support incommensurable pour la dernière ligne droite. Merci sincèrement également à Benjamin, Geneviève, Claude et Denise, qui n'ont jamais montré l'ombre d'un jugement et qui ont toujours cru en moi.

Mention d'honneur à ma nièce Caméllia, 8 ans et mon neveu Olivier 1 an. C'est vous qui m'avez donné le dernier souffle de courage porté par le profond désir de vous faire cultiver le rêve d'une Terre pleine de vie et de sourires, où l'agriculture est au service de tout ce qui la rend naturellement pérenne.

Ce travail n'aurait tout simplement pu être mené à terme sans votre apport. Vous incarnez la force et l'importance du tissu social dans la construction d'une société meilleure. Je vous couvre toutes et tous d'amour!

Finalement, je tiens à souligner le travail incroyable de tous les acteurs agricoles œuvrant dans le grand projet de la transition sociale et écologique. Merci de la façonner jour après jour de la manière la plus concrète qui soit.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1. MÉTHODOLOGIE	4
1.1. Description des méthodes d'analyse	4
1.2. Cadre conceptuel	6
1.3. Contraintes et limites	6
2. MODÈLE ACTUEL : AGRICULTURE INDUSTRIELLE	7
2.1. Brève histoire de l'alimentation	7
2.2. L'agriculture industrielle et ses limites	8
2.2.1. La déforestation	8
2.2.2. Les pesticides	9
2.2.3. Les engrais chimiques	10
2.2.4. Pressions sur les ressources hydriques	11
2.2.5. La perte diversité des cultures	12
2.2.6. Le gaspillage alimentaire	13
2.2.7. Complexité de la chaîne de production	13
2.2.8. Les injustices	14
3. NÉCESSITÉ DE TRANSITION : LES DÉFIS ALIMENTAIRES DE DEMAIN	15
3.1. Faire face à la demande alimentaire croissante	15
3.2. Éradiquer la faim et l'insécurité alimentaire	17
3.3. Améliorer la durabilité de l'usage des ressources naturelles	18
3.4. Adaptations et mitigations des changements climatiques	19
3.5. Les grandes tangentes vers un changement de paradigme	20
3.5.1. Hightech vs lowtech	21
4. HIGHTECH : LES FERMES VERTICALES	23
4.1. Origines et définition du concept	23
4.2. Principes et fonctionnements	24
4.2.1. Éclairage	24
4.2.2. Énergie	25
4.2.3. Main d'œuvre	25
4.2.4. Hydroponie	25
4.2.5. Bioponie	26
4.2.6. Aquaponie	26
4.2.7. Méthodes d'irrigation	27

4.3. Promesses avancées	30
4.3.1. Efficacité agricole	30
4.3.2. Résistance aux aléas climatiques	32
4.3.3. Conservation des écosystèmes.....	32
4.4. Cas en exemple	34
5. LOWTECH : L'AGROÉCOLOGIE	36
5.1. Origines et définition du concept.....	36
5.2. Principes et promesses avancées	39
5.2.1. Principes historiques	40
5.2.2. Principes méthodologiques	41
5.2.3. Principes socio-économiques.....	43
5.3. Cas en exemple	44
5.3.1. Système riz-canards-poissons	44
5.3.2. Et au Québec?	46
6. ANALYSE CRITIQUE DES MODÈLES PRÉSENTÉS.....	47
6.1. Contributions aux défis alimentaires	47
6.1.1. Hightech : Fermes verticales	48
6.1.2. Lowtech : Agroécologie	53
6.2. Contributions dans une perspective systémique de développement durable.....	58
6.2.1. Le développement durable et la résolution de problème	58
6.2.2. Le développement durable et la pensée systémique	60
6.2.3. La pensée systémique et les défis alimentaires.....	62
6.2.4. La pensée systémique et les fermes verticales.....	63
6.2.5. La pensée systémique et l'agroécologie	65
6.3. Synthèse.....	67
7. RECOMMANDATIONS	69
7.1. Fermes verticales	69
7.2. Agroécologie	71
CONCLUSION.....	73
RÉFÉRENCES	76

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1.1 Pensée systémique : Le modèle de l'iceberg	5
Figure 4.1 Irrigation goutte-à-goutte.....	27
Figure 4.2 Irrigation par NFT	28
Figure 4.3 Irrigation par système à marée	28
Figure 4.5 Système aéroponique	29
Figure 5.1 Les 10 éléments de l'agroécologie.....	38
Figure 6.1 Pensée systémique : Le modèle de l'iceberg appliqué à la problématique alimentaire	60
Tableau 1.1 Description des niveaux de réponse des options aux défis alimentaires de la FAO	6
Tableau 5.1 Les principes historiques de l'agroécologie	40
Tableau 5.2 Les principes méthodologiques de l'agroécologie	41
Tableau 5.3 Les principes socio-économiques de l'agroécologie.....	43
Tableau 6.1 Analyse critique des réponses promises des fermes verticales face aux défis alimentaires ciblés par la FAO	49
Tableau 6.2 Analyse critique des réponses promises de l'agroécologie face aux défis alimentaires ciblés par la FAO	54

LISTE DES ACCRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

°C	Degré Celsius
CDB	Convention des Nations Unies sur la diversité biologique
CMED	Commission mondiale sur l'environnement et le développement
CO ₂	Dioxyde de carbone
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FMI	Fonds monétaire international
FNH	Fondation pour la Nature et l'Homme
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GIRAF	Groupe Interdisciplinaire de Recherche en Agroécologie du Fond de recherche belge
IATP	<i>Institute for Agriculture & Trade Policy</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
Km	Kilomètre
Km ²	Kilomètre carré
LED	Diode électroluminescente
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OMS	Organisation Mondiale de la santé
ONU	Organisation des Nations Unies
MAPAQ	Ministère de l'Agriculture, Pêcheries et Alimentation du Québec
NFT	<i>Nutrient film technique</i>
N ₂ O	Oxyde nitreux
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PVC	Polychlorure de vinyle
WRI	World Resources Institute

LEXIQUE

Agriculture industrielle	L'agriculture intensive s'articule autour de l'exploitation des sols, de l'eau et autres ressources naturelles visant à atteindre le plus fort rendement par hectare que possible. (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'Agriculture [FAO], 2017)
Agroécologie	Une approche intégrée qui applique concomitamment des notions et des principes écologiques et sociaux à la conception et à la gestion des systèmes alimentaires et agricoles. Elle vise à optimiser les interactions entre les végétaux, les animaux, les humains et l'environnement, sans oublier les aspects sociaux dont il convient de tenir compte pour qu'un système alimentaire soit durable et équitable. (FAO, 2018b)
Développement durable	Conception holistique d'un développement humain équitable permettant une relation symbiotique avec le monde naturel (Définition de l'auteure)
Fermes verticales	Diverses pratiques basées sur le fait de cultiver des quantités significatives d'aliments dans ou sur des bâtiments. (Définition de l'auteure)
<i>Hightech</i>	Ensemble des techniques avancées touchant les domaines les plus récents : aérospatiale, biotechnologies, technologies de l'information, nanotechnologies, robotique, etc. (Ricart, 2016)
<i>Lowtech</i>	Trajectoires techniques à petite échelle, décentralisées, sobres en énergie, respectueuses de l'environnement et à forte utilisation de main-d'œuvre. (Ricart, 2016)
Pensée systémique	Ensemble de compétences analytiques synergiques utilisées pour améliorer la capacité d'identifier et de comprendre les systèmes, de prédire leurs comportements et d'en concevoir des modifications afin de produire les effets souhaités. Ces compétences fonctionnent ensemble comme un système. (Traduction libre de : Arnold et Wade 2015)
Permaculture	La voie, pour l'être humain, qui l'amène à repenser les structures vitales : production alimentaire, énergie, construction, transports, technologie, et mêmes relations humaines et systèmes financiers. Elle le conduit aussi à reconnaître son rôle dans le façonnement des écosystèmes naturels auxquels il appartient, sachant qu'il détient la capacité de régénérer son environnement tout en subvenant à ses besoins (Neiger, 2017)
Sécurité alimentaire	Lorsque tous les êtres humains ont, à tout moment, un accès physique et économique à une nourriture suffisante, saine et nutritive leur permettant de satisfaire leurs besoins énergétiques et leurs préférences alimentaires pour mener une vie saine et active. (FAO, 2008)

INTRODUCTION

L'agriculture, qui signifie «l'art de cultiver la terre» (Diderot, 1751), est au cœur des activités humaines depuis à peine 10 000 ans sur les trois millions d'années d'histoire de notre espèce. Elle a lentement, mais profondément bouleversé notre rapport aux écosystèmes, nos relations avec les autres formes de vie et nos perceptions par rapport à notre autonomie et notre résilience. Le cumul des évolutions technologiques a généré une efficacité permettant à l'essentiel de la population mondiale de ne plus avoir à assurer individuellement sa propre autonomie alimentaire. Malgré tout, la sécurité alimentaire demeure loin d'être assurée pour tous. De grands déséquilibres socio-économiques et environnementaux se sont formés et menacent de s'aggraver dans les décennies à venir si les modèles de production ne sont pas transformés. (Houde-Tremblay, Émilie, 2019)

Plus précisément sur les questions environnementales, rappelons que depuis 1970, l'empreinte écologique des humains est supérieure à la biocapacité des écosystèmes dont nous dépendons. Nous vivons depuis à crédit. Le jour du dépassement de la Terre, date à laquelle l'humanité a déjà consommé l'ensemble des ressources que la planète peut produire en une année, arrive de plus en plus tôt. En 1970, ce jour était le 23 décembre alors que pour l'année 2019, c'est au bout de cinq mois seulement que l'humanité a atteint ce seuil, soit le 10 mai. (Global Footprint Network, 2018) Il existe ainsi bel et bien une relation directe entre la poursuite de notre mode de développement traditionnel et la destruction de l'écosystème.

Dans les soixante dernières années, la mobilisation de la communauté scientifique s'est intensifiée et complexifiée autour des prévisions qui dressent un portrait alarmant pour l'avenir de la vie sur Terre telle qu'on la connaît. Les études et les données sont claires : les villes de demain seront confrontées à des difficultés que l'humanité n'a jamais connues auparavant, résultats des profondes perturbations qu'ont générées les activités anthropiques des deux derniers siècles sur les écosystèmes de notre planète. Des regroupements tels que le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [GIEC], tentent de vulgariser les données scientifiques démontrant la manifestation des dérèglements écosystémiques afin de faire émerger un sentiment d'urgence globalisé.

Les décideurs et les citoyens du monde entier doivent impérativement se mobiliser et entreprendre des actions audacieuses, créatives et holistiques pour éviter l'atteinte du seuil d'irréversibilité quant à l'intégrité de la vie sur Terre. Une transition écologique de nos modes de vie et de nos façons d'occuper le territoire devient alors tout simplement vitale. Le concept d'inquiétude anticipée pour les « générations futures » amené par la première définition du développement durable officialisée dans le rapport de Brundtland de 1972 n'est plus à jour puisqu'il s'agit déjà des générations actuelles. Plus que jamais, une réflexion profonde doit être entamée quant à notre rapport avec la vie non humaine afin d'agir et faire ralentir les processus de destruction des habitats et de dérèglements majeurs enclenchés.

Selon la (FAO et al., 2018), la croissance démographique, l'urbanisation massive ainsi que la hausse des revenus augmenteront significativement les pressions sur les ressources en terres et en eau déjà gravement fragilisées. De plus, la pauvreté et les inégalités ne cesseront de causer de graves famines et problèmes de malnutrition dans plusieurs régions du globe. Les changements climatiques rendront les récoltes de plus en plus ardues alors que les procédés agricoles industriels continueront d'émettre des millions de tonnes de gaz à effet de serre [GES]. Ce sont là les cinq grands défis qui menacent la sécurité alimentaire mondiale. La FAO (2018a) affirme dans son dernier rapport que l'agriculture, telle qu'on la connaît actuellement, n'est tout simplement pas durable et doit connaître rapidement une transition profonde. Ce qui signifie que les modèles agricoles intensifs industriels auxquels nous avons recours massivement depuis le 20^e siècle ne sauront pas répondre aux défis alimentaires des populations dans les décennies à venir (Soussana et al., 2012).

C'est pourquoi les paradigmes et méthodes entourant la production agricole sont à redéfinir. Des solutions alternatives émergent et se développent afin que l'humanité s'inscrive dans une volonté de transition agricole qui permettra d'intégrer un système prenant en charge ces défis pour y faire face. Ces alternatives se regroupent dans deux pôles structurants, des pôles technologiques, soit ceux des *hightech* et des *lowtech*. Dans le spectre des *hightech*, une option qui suscite de plus en plus d'engouement à travers le monde, particulièrement en Asie : les fermes verticales. Elles visent à amorcer une transition des modes de cultures agricoles en produisant plus de nourriture avec moins de ressources dans des milieux entièrement contrôlés et paramétrés (Al-Kodmany, 2018). Du côté des *lowtech*, on retrouve plutôt l'avènement de systèmes agroécologiques. Cette seconde alternative ne nécessitant pas de grands exploits technologiques est basée sur la recherche de complémentarité entre les espèces et l'ensemble des paramètres de gestion écologique et sociale de l'espace cultivé. (Altieri, Nicholls, et Montalba, 2017)

Ainsi, l'objet de cet essai part de la grande problématique que la sécurité alimentaire mondiale est compromise. La question structurante visant à adresser cette problématique est la suivante : évaluer si les options découlant de ces deux pôles technologiques distincts, peuvent parvenir à répondre aux défis alimentaires ciblés par la FAO dans une perspective systémique de développement durable.

Le modèle de développement sur lequel les sociétés dominantes reposent limite notre capacité à résoudre des problèmes de manière suffisamment profonde pour permettre un réel développement durable. Dès lors, pour arriver à répondre à la question, l'objectif général qui articulera la recherche sera de démontrer la pertinence des deux options en lien avec les deux volets de la question structurante. Les deux volets sont : la réponse aux défis alimentaires de la FAO et leur réponse selon une perspective systémique de développement durable. Les objectifs spécifiques qui en découleront seront de cerner les limites évidentes du modèle agricole actuel (chapitre 2), de cibler les défis alimentaires qui nous guettent (chapitre 3), d'exposer les fonctionnalités principales des fermes verticales (chapitre 4) et de l'agroécologie (chapitre 5) afin de finalement poser un jugement critique qui mènera à savoir si ces options répondent aux défis

alimentaires dans une perspective systémique de développement durable (chapitre 6). Les recommandations résultant de cette analyse seront ensuite présentées au chapitre 7. Le chapitre 1 exposera préalablement la méthodologie employée pour atteindre ces objectifs et ultimement, répondre à la question structurante.

Par l'entremise de cet essai, l'auteure souhaite contribuer aux réflexions de tous ceux et celles qui s'intéressent aux fermes verticales et à l'agroécologie comme alternatives au modèle agricole destructeur actuel. Elle vise à proposer une perspective analytique permettant de transcender les couvertures médiatiques et les discours de promoteurs des deux options étudiées afin d'éviter d'adresser des réponses faciles à des causes profondes. En d'autres mots, il est question de développer un regard critique sur la réelle contribution des deux modèles à régler la problématique.

1. MÉTHODOLOGIE

Pour arriver à répondre aux objectifs présentés, ce chapitre expose la méthodologie qui sera employée. D'abord, une description des méthodes d'analyse choisies, suivi du cadre conceptuel et des contraintes et limites y seront proposés.

1.1. Description des méthodes d'analyse

Le travail analytique de nature qualitative s'articulera d'abord sur une analyse primaire suivie d'une analyse critique qui s'inscrira dans une perspective anthropologique. L'anthropologie est une science qui suggère un regard fondamentalement interdisciplinaire entre les dimensions biophysiques naturelles et socioculturelles humaines (Miguelez, 1989). Comme l'agriculture est un phénomène humain, il est approprié d'intégrer cette approche pour poser un jugement contextualisé.

L'analyse primaire sera d'abord effectuée par le biais d'une revue de littérature. Cette dernière reposera sur une collecte de données réalisée via une recherche par mots-clés et effet boule de neige de documents de type variés issus de sources crédibles, récents et pertinents. Selon une approche dialectique, des opinions opposées seront aussi comparées afin de saisir les portées des enjeux soulevés selon différentes perspectives. Il s'agira effectivement de lire des textes théoriques, pour en discerner les traits distinctifs et en tirer des significations et des catégories conceptuelles qui cadreront l'analyse critique.

De surcroît, l'analyse critique consistera ensuite à donner un sens à ces significations en les mettant en relations les unes avec les autres par l'intermédiaire de la pensée critique. Selon la chercheuse en philosophie éducative Marie-France Daniel, l'approche la plus complète de la pensée critique est celle découlant de la vision socioconstructiviste. Elle dépasse le raisonnement logique et technique en avançant un rapport au savoir qui intègre le conditionnement social de notre pensée et celle des autres. On vise à cerner une problématique de manière holistique, de sorte à en faire ressortir les valeurs et principes qui sous-tendent les solutions proposées en acceptant ce conditionnement inhérent. (Daniel, 2015)

Plus spécifiquement, la pensée critique de cette portion de l'analyse sera articulée autour du modèle de la pensée systémique. Cette approche permettra de répondre au dernier objectif spécifique, c'est-à-dire à savoir si une des deux options répond aux défis alimentaires dans une perspective systémique de développement durable. La pensée systémique est un modèle théorisé par Donella H. Meadows et al. (1972) permettant d'adresser différentes couches de réflexions quant à ce-dit développement durable.

Le modèle de l'iceberg, schématisé par Micheal Goodman (1997), présenté à la figure 1.1 de la page suivante, permet d'expliquer les grandes lignes directrices de la pensée systémique. Ce modèle comporte quatre grandes structures qui représentent les différents niveaux de profondeur d'analyse d'une situation en passant d'un mode de pensée le plus simple au plus complexe.

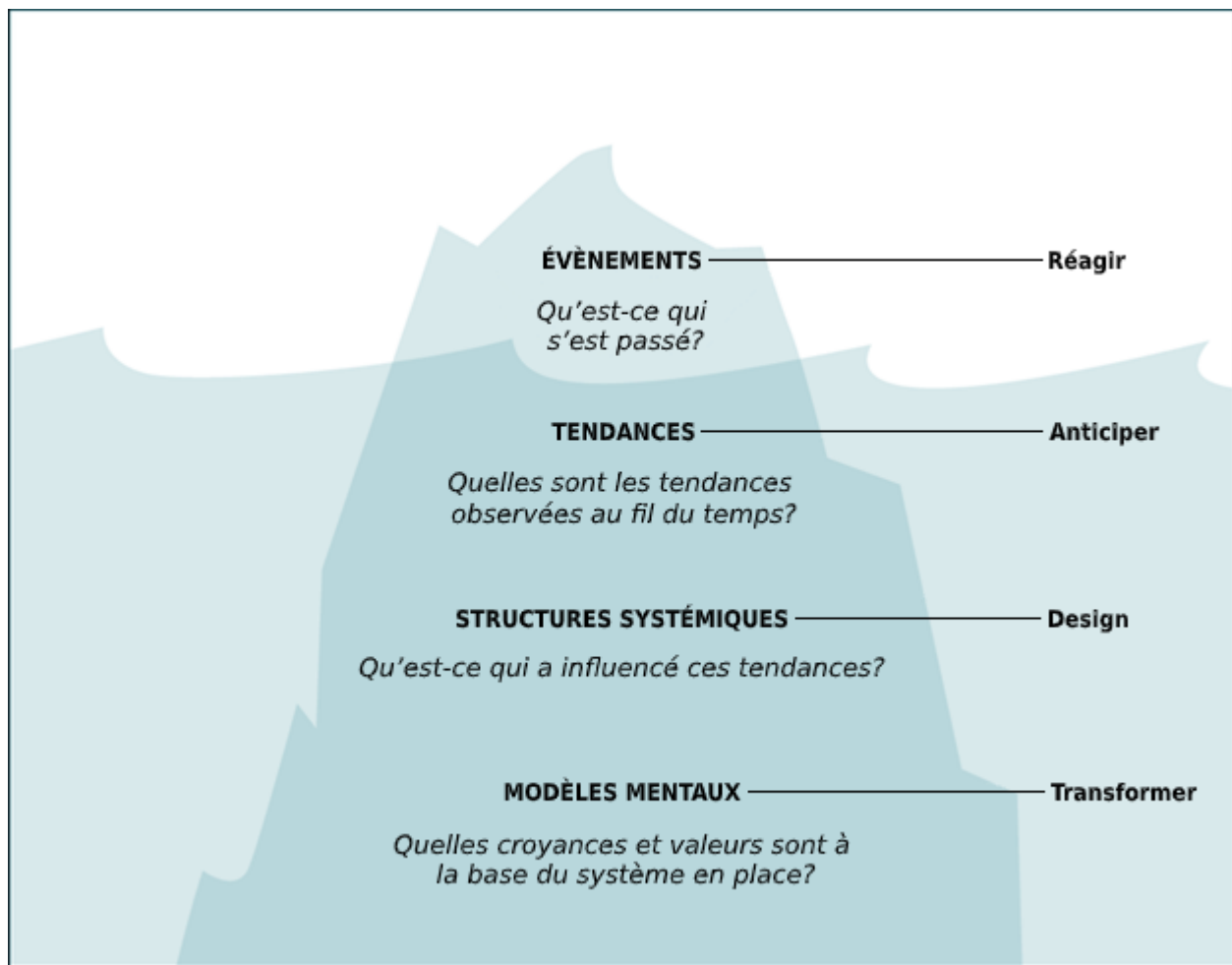


Figure 1.1 Pensée systémique : Le modèle de l'iceberg (Inspiré de : Ecochallenge, 2020)

Ainsi, les chapitres 2, 3, 4 et 5, c'est-à-dire ceux portant sur l'analyse primaire, seront principalement, quoique non exclusivement, soutenus par les deux premiers niveaux de la pensée systémique, soit l'évènement et les tendances. Il en va de même pour la section 6.1 du chapitre d'analyse critique puisque nous en serons toujours à des niveaux de réflexion relativement superficiels de mises en relation des éléments présentés dans les précédents chapitres. Toutefois, il ne s'agira plus d'exposer des faits, mais bien de porter un jugement critique. L'analyse des réponses promises par les défenseurs de chacune des deux options pour chacun des défis alimentaires sera alors présentée sous forme de tableau incluant un texte explicatif et le jugement synthèse du niveau de réponse estimé par l'auteure. Ce niveau de réponse sera catégorisé de la manière présentée dans le tableau 1.1 de la page suivante.

Tableau 1.1 Description des niveaux de réponse des options aux défis alimentaires de la FAO

Niveau de réponse	Description
Total	L'option semble pouvoir répondre en totalité au défi alimentaire présenté.
Partiel	L'option semble pouvoir répondre en partie au défi alimentaire présenté.
Nul	L'option semble ne pas pouvoir contribuer de manière suffisamment significative au défi alimentaire présenté.
Aggravant	L'option semble pouvoir aggraver le défi alimentaire présenté

C'est à la section 6.2 que l'on plongera dans les deux autres niveaux plus profonds, soit la structure systémique et les modèles mentaux, afin de juger dans quelle perspective du développement durable les options s'inscrivent.

1.2. Cadre conceptuel

L'essai veille à offrir un jugement éclairé mais tout à fait réfutable sur la question. Ce jugement ne pourra pas être empreint par l'entière des facettes des composantes des problématiques soulevées. Dans ce cadre précis, les aspects touchant la gouvernance, la transition sociopolitique et économique et la philosophie ne seront que survolés. Aussi, l'analyse critique des fermes verticales ne concernera qu'une seule des trois formes actuellement existantes. D'autres études subséquentes pourront être réalisées pour étayer ces notions non abordées ou non approfondies.

1.3. Contraintes et limites

Les fermes verticales sont des innovations relativement récentes. La quantité de données quantitatives et de publications critiques est restreinte, ce qui constitue une première limite importante. De plus, ce ne sont pas toutes les formes de fermes verticales qui ont encore vu le jour. Alors, pour ces dernières, les informations récoltées demeurent dans un cadre hypothétique, autant quantitativement que qualitativement.

Il est d'autant plus important de mettre en perspective que les postures épistémologiques de l'auteure ne sont pas neutres. Elles sont habitées par des croyances et visions du monde qui influencent le regard posé sur les paradigmes profonds qui sont à la base de la défense des modèles présentés dans cet ouvrage. Les réflexions qui ressortiront de l'analyse critique en seront ainsi indéniablement teintées. Il ne s'agira pas de poser un jugement transformateur sur les questions agricoles ni d'émettre de résultats unitaires découlant d'un raisonnement logique ou technique. La recherche repose seulement sur le précepte que l'on souhaite agir pour le meilleur en démontrant un engagement à justifier la validité des deux options sélectionnées.

2. MODÈLE ACTUEL : AGRICULTURE INDUSTRIELLE

Le développement de l'agriculture dans les 50 dernières années a été saisissant. Il est estimé qu'entre 1960 et 2015, la production d'aliments a triplé. Au cours de cette période rythmée par l'industrialisation et la mondialisation, l'agriculture est devenue plus efficace à l'échelle globale, mais la production alimentaire et la croissance économique ont laissé place à des coûts sociaux et environnementaux monumentaux. L'explosion de la production a impliqué une expansion intensive des terres cultivées qui a induit une destruction des écosystèmes terrestres et aquatiques.

« Près de la moitié des forêts qui couvraient le globe est maintenant décimée, les sources d'eau souterraine sont continuellement sous pression, la biodiversité a été sévèrement érodée et les plans d'eau ont été pollués par les nitrates, les herbicides et les pesticides » (traduction libre de : FAO, 2018a).

Ce modèle est autodestructeur, non durable et basé sur une dynamique linéaire avec des ressources finies, ce qui représente une menace à la résilience alimentaire. (Tilman et al., 2011)

En premier temps, ce chapitre veille à mettre en lumière les différents pans de l'histoire ayant mené l'humanité à s'alimenter tel qu'elle le fait aujourd'hui. En deuxième temps, la démonstration des principales limites et conséquences entourant le modèle agricole industriel sera proposée.

2.1. Brève histoire de l'alimentation

Pendant trois millions d'années, les populations des premiers hominidés progressaient au rythme des variations climatiques et ne représentèrent que tout au plus 100 000 individus. Pendant cette période, l'humain s'est nourri d'espèces animales et végétales extrêmement variées qui proliféraient sans la moindre trace de pratiques de production anthropique. Vers 50 000 av. J.-C., on retrouve des traces d'Homo sapiens sur tous les continents et il est estimé qu'environ 1,5 million d'individus peuplent alors le globe. Des innovations techniques de chasse et de pêche permirent à l'espèce humaine d'atteindre les 5 millions d'habitants vers -40 000. (Biraben 2003; Harari, 2015)

Il y a 10 000 ans à peine, les sociétés humaines révolutionnèrent profondément leur mode de vie en dédiant la majeure partie de leur journée au labeur que représente le contrôle d'une poignée de plantes et d'animaux progressivement domestiqués. Ce n'est qu'à partir de ce moment qu'Homo sapiens s'est mis à se sédentariser et à s'organiser en ce que nous appelons aujourd'hui des villages, villes et cités. À partir de la révolution néolithique, marquée par l'avènement de l'agriculture, la navigation et la sédentarisation, la population humaine est en croissance significative et atteint les 100 millions vers -2000. Avec cette révolution, l'humain parvient pour la première fois à produire suffisamment de denrées pour pouvoir les accumuler en quantité massive. Bien qu'il lui soit maintenant possible d'assurer une alimentation plus constante et foisonnante, et donc de supporter un accroissement démographique rapide, ces changements profonds de mode de vie lui soutirent plus d'heures de labeurs que jamais auparavant. En 3700 ans, soit

entre cette dernière période du néolithique et l'an 1700, la population poursuit cette courbe ascendante et se dénombre à 682 millions d'habitants. (Harari, 2015)

Les espaces urbains ne seraient donc qu'une forme d'habitat humain moderne, densément bâtie, où l'écrasante proportion des activités humaine s'articule autour de la production de biens et de services sans concentrer ses efforts à des activités agricoles pour s'autosuffire en alimentation (Bricas, 2017). La sédentarisation et l'organisation des sociétés humaines en milieux urbanisés sont alors à la base de l'essor d'une production alimentaire massive et d'une expansion fulgurante de la population qui mena graduellement à la multiplication de villes et cités sur tous les continents (Gardner, 2013).

C'est ensuite à partir du 19^e siècle, pendant la révolution industrielle que se sont réellement développés des savoirs scientifiques et une maîtrise des technologies qui ont mené à l'intensification et l'industrialisation de la production agricole qui est aujourd'hui à la base de notre système alimentaire (Fresco, 2015). Le recours à des méthodes et procédés industriels tant dans la production, que dans le transport et la transformation des aliments a permis de répondre à plusieurs besoins et de soutenir la croissance. Néanmoins, ces pratiques ont généré des conséquences sociales et environnementales déconcertantes et en résultent maintenant un enchaînement de dérèglements qui compromettent la vie sur terre telle qu'on la connaît (Lanz, Dietz, et Swanson, 2018).

2.2. L'agriculture industrielle et ses limites

La présente section démontrera les limites évidentes de l'agriculture industrielle reposant sur la monoculture et le modèle économique capitaliste. Il est défini comme limites, toutes conséquences directes ou systémiques ayant pour effet d'amenuiser notre résilience et notre sécurité alimentaire.

2.2.1. La déforestation

L'agriculture intensive s'articule autour de l'exploitation des sols, de l'eau, des carburants fossiles et autres ressources naturelles visant à atteindre le plus fort rendement possible par hectare (FAO, 2017). Cette quête à l'atteinte de rendements industriels dans les modes de production agricole a notamment été orchestrée par la mécanisation des procédés. La machinerie lourde a permis de décupler la rapidité des manipulations sur toute la chaîne de production. Pour permettre la transition de la traction animale et de la main d'œuvre humaine vers le machinisme agricole moderne tel qu'on le connaît aujourd'hui, l'espacement des plateaux de cultures fut incontournable. Au fil de l'évolution de la mécanisation de l'agriculture, l'efficacité de rendement a été supportée par l'augmentation de la taille de la machinerie qui ne cessa de devenir de plus en plus importante. Passer des instruments aratoires utilisés pour le travail du sol tels que la déchaumeuse et le cultivateur jusqu'aux machines dédiées aux récoltes telles que le tracteur, la moissonneuse-batteuse et la faucheuse, a nécessité l'étalement des parcelles agricoles afin de pouvoir circuler et opérer. Cette expansion de la surface des terres à cultiver générée par l'arrivée de cette nouvelle

machinerie s'est donc traduit par une augmentation de la déforestation et de la destruction des milieux naturels. (Bommert et Landzettel, 2019)

Il est reconnu par la Convention des Nations Unies sur la diversité biologique [CDB] que la perte et la dégradation des habitats constituent la forme de pressions anthropiques directes la plus destructrice pour les écosystèmes et la biodiversité à l'échelle planétaire. Hiérarchisées par ordre de gravité d'impact, les autres pressions directes sont ensuite les espèces exotiques envahissantes; la pollution et les charges en nutriments; la surexploitation et les changements climatiques. (Secrétariat de la CDB, 2010) La conversion d'écosystèmes naturels en terres agricoles a eu lieu principalement dans les zones tropicales ou subtropicales du globe. Ces zones, plus spécifiquement celles qui bordent l'équateur, renferment les plus grands foyers de biodiversité. Elles représentent aussi les plus importants capteurs de carbone et les plus grands producteurs de photosynthèse après les océans. Ainsi, en plus d'être la menace numéro un à la biodiversité, l'agriculture industrielle intensive contribue fortement aux dérèglements climatiques. (World Resources Institute [WRI], 2018)

2.2.2. Les pesticides

Bien que la lutte chimique existe depuis la Grèce antique (1000 ans avant J-C), c'est au lendemain de la Seconde Guerre mondiale que se développèrent et se normalisèrent massivement les pesticides (Blogowski, 2020). Le déploiement du modèle de production agricole industrielle rendit effectivement indispensable l'usage de ces produits étant donné que la monoculture a stérilisé les sols et amenuisé la résistance naturelle des espèces produites. Les pesticides désignent un terme générique regroupant les herbicides, insecticides, fongicides et parasitocides. Ils tuent tout : insectes, herbes, bactéries, organismes fongiques et microorganismes considérés comme nuisibles aux standards de la production industrielle. Donc, comme les défenses naturelles que l'on retrouve dans un écosystème équilibré ont été évacuées des procédés, l'usage des pesticides apparut comme une suite logique pour parvenir à soutenir et faciliter ce mode de production.

Résultats, ils polluent et perturbent profondément les écosystèmes en s'attaquant aux composantes qui assurent leur équilibre. Les pesticides, étant des composés chimiques, ils sont hautement toxiques. Ils peuvent affecter gravement et de façon permanente les milieux naturels limitrophes aux aires d'application puisqu'une grande proportion n'atteignent pas leur cible. Aussi, très peu d'organismes vivants peuvent métaboliser ces produits non biodégradables, donc il en résulte une bioaccumulation dans les tissus adipeux et une bioamplification dans la chaîne alimentaire. (Olivier, 2017)

Les pesticides peuvent aussi avoir des conséquences désastreuses sur la santé humaine, plus particulièrement chez les enfants. D'une part, il est indéniable que d'une perspective systémique, la santé et la qualité de vie humaine est directement liée à la détérioration de la biodiversité (Reeves, 2017). Les

pesticides s'en prennent à la santé de la biodiversité et amenuisent les services écologiques rendus par les écosystèmes dont nous dépendons pour vivre. D'autre part, la persistance de ces substances dans notre environnement et dans les aliments avec lesquels nous sommes en contact peut causer de dommages permanents à notre santé.

« L'homme peut [en effet] être exposé aux pesticides extrêmement dangereux à la suite d'une contamination environnementale, s'il consomme des denrées alimentaires et éventuellement de l'eau contenant des résidus de pesticides. Alors que les pays développés disposent déjà de systèmes pour enregistrer les pesticides et contrôler leur commerce et leur utilisation, ce n'est pas toujours le cas ailleurs. » (Organisation Mondiale de la santé [OMS], 2020).

Il est très long et laborieux de prouver scientifiquement la dangerosité d'un pesticide. Très peu de données sont alors actuellement disponibles pour dresser un réel portrait de l'étendue des impacts sanitaires. Toutefois, parmi les effets néfastes connus, on retrouve les cancers, les intoxications, les troubles des systèmes nerveux et endocriniens.

Comme le système alimentaire repose sur une logique d'économie de marché, les recherches démontrant la gravité potentielle d'une exposition aux pesticides ont eu pour effet de simplement pousser l'industrie à trouver des pesticides moins nocifs, plutôt que changer les procédés de manière plus profonde. (Blogowski, 2020) L'industrie s'est effectivement entêtée à demeurer dans la même dynamique en changeant les variables de façon superficielle uniquement. C'est-à-dire que cela a eu, et a toujours pour effet d'entraîner le modèle dans une boucle de rétroaction tardive par rapport aux délais connus pour avoir des données probantes sur la réelle dangerosité des nouvelles substances utilisées.

2.2.3. Les engrais chimiques

Le modèle de culture industriel forgé par la mécanisation des procédés a aussi entraîné l'appauvrissement et l'épuisement des sols. L'usage d'engrais chimiques apparut alors rapidement comme une solution pour pallier à ce phénomène. Cette approche permet aussi de répondre aux exigences et aux standards de plus en plus élevés de la demande, voulant des fruits et légumes toujours plus parfaits, gros et uniformes. On sait toutefois aujourd'hui qu'il s'agit d'une solution partielle ayant une portée à très court terme et qui génère des cycles de dépendance aux engrais chimiques. On désorganise les facteurs naturels de fertilité. Les engrais de synthèse sont directement assimilés par les végétaux, court-circuitant dès lors les processus lents de décomposition des micro-organismes. La vie microbienne s'éteint peu à peu et les sols s'appauvrissent jusqu'à devenir stérile. En sommes, plus on appauvrit le sol en le surutilisant, plus on a besoin d'engrais pour maintenir la production, et plus on utilise d'engrais, moins le sol est résilient. On assiste alors à une « écodégringolade ». (Lortie, 2019)

Dans leur ouvrage, *L'avenir est dans le champ*, Jean-Martin Fortier et Lortie (2019) comparent la fertilisation des sols aux engrais chimiques à une consommation abusive de vitamines pour les humains. En effet,

fournir uniquement les minéraux indispensables dont les plantes ont besoin sans prendre en considération l'apport de la complexité de la vie du sol dans la qualité de la croissance en revient à imaginer s'alimenter uniquement de vitamines.

Outre l'affaiblissement des sols par la déstructuration de leur équilibre, l'usage d'engrais chimiques pollue les milieux naturels. Des 200 millions de tonnes de phosphore, de nitrate, d'azote et de potassium utilisés comme engrais annuellement dans le monde, il est estimé que jusqu'à 50 % de la quantité épandue se retrouve dans les cours d'eau et les nappes phréatiques suite au passage de l'eau de pluie (FAO, 2015). C'est ce que l'on appelle l'effet de lessivage. L'usage des engrais chimiques couplé aux méthodes de cultures traditionnelles ayant réduit la capacité de rétention des sols, a rendu les terres plus sujettes à ce phénomène. Les conséquences directes du lessivage des excès d'engrais sont la contamination des cours d'eau par la nitrification et l'eutrophisation que provoque la prolifération d'algues à des taux toxiques (Landry et Boivin, 2011)

De nombreux autres problèmes sont associés au cercle vicieux de l'utilisation d'engrais de synthèse. Notamment, les insectes nuisibles sont plus attirés par les plantes dopées aux nutriments, engendrant alors souvent un plus grand recours aux pesticides. Aussi, la surfertilisation à l'azote crée des conditions propices à la transformation des nitrates en oxyde nitreux [N_2O], soit un GES environ 300 fois plus puissant que le dioxyde de carbone [CO_2]. Finalement, il faut aussi prendre en compte les impacts environnementaux de l'extraction de ces substances. Pour les extraire, des procédés mécaniques et chimiques hautement énergivores sont effectivement nécessaires, ce qui alourdit le bilan des impacts des engrais de synthèse. (Fortier et Lortie, 2019)

2.2.4. Pressions sur les ressources hydriques

La Banque mondiale atteste que plus de 70 % de l'eau extraite pour des fins de consommation humaine est destinée à l'agriculture (Khokhar, 2017). Les ressources en eau potable sur terre sont précieuses, car vitales et limitées. Elles sont aussi très inégalement réparties sur le globe. Les pays les plus touchés par la raréfaction des ressources aquifères sont aussi ceux détenant le plus faible pourcentage des réserves d'eau potable du globe.(FAO, 2017)

De plus, l'agriculture est la source de pollution des plans d'eau la plus importante de toutes (Hébert, 2017). D'une part, la déforestation entraîne l'érosion des sols, réduisant ainsi la qualité des cours d'eau et des nappes phréatiques. D'autre part, les pesticides et engrais chimiques épandus sur des sols fragilisés sont plus facilement lessivés vers les plans d'eau qui deviennent gravement contaminés. Cette contamination est accentuée par le fait que la fragilisation des sols entraîne une diminution de leur capacité de rétention et donc, une plus grande consommation d'eau pour irriguer les cultures. Cette surconsommation d'eau aggrave à son tour les phénomènes de contamination.

2.2.5. La perte diversité des cultures

Le modèle agricole industriel repose aussi sur l'usage d'immenses étendues de terres vouées à produire de grandes quantités d'une seule espèce à la fois pour faciliter les manœuvres mécanisées. La tendance mondiale des 50 dernières années s'est donc petit à petit articulée autour de la réduction de la diversité des plantes cultivées, réduisant ainsi la variété d'aliments disponibles à la consommation. Les investissements à la base du fonctionnement de ce modèle sont massifs et sont effectivement associés à la culture d'espèces très spécifiques. De par l'ampleur de cette échelle de rendements attendus, il est devenu très complexe d'offrir une versatilité de production puisqu'elle implique une réorganisation logistique et des coûts colossaux. (Cavelier, 2017)

Cette diminution de variétés de plantes cultivées menace de ce fait la sécurité alimentaire et la santé mondiale. Effectivement, les monocultures rendent les stocks alimentaires plus fragiles aux maladies pouvant ravager les récoltes. Ainsi, plus les stocks reposent sur une faible variété d'espèces et plus celles-ci sont produites via la monoculture, plus la résilience de production s'affaiblit. À cela, ajoutons que les espèces choisies par l'industrie ne sont pas sélectionnées pour leurs qualités nutritives. La sélection des variétés repose sur des critères de rendements, de résistance, d'adaptation au climat et d'esthétisme. Par conséquent, en plus d'avoir accès à une diversité plus faible d'aliments, ceux que l'on cultive seraient de plus en plus pauvres en nutriments. Selon un rapport publié en 2007 par Brian Halweil, chercheur du World Watch Institute, « plus les rendements augmentent dans l'agriculture, plus la concentration de nutriments diminue ». Il est à noter que les études suivant l'évolution de la concentration des nutriments dans le temps sont très peu nombreuses. Il est donc difficile d'estimer l'ampleur des potentielles conséquences réelles sur la santé humaine. (Dagorn, 2016) Toutefois, selon la FAO, 7000 espèces de plantes ont été cultivées par l'homme depuis l'avènement de l'agriculture. Seules 30 espèces fournissent aujourd'hui 90 % des calories dont la population mondiale a besoin. De cet apport, près de la moitié est fournie par le blé, le riz et le maïs. Bien que les causes de la malnutrition soient complexes et systémiques, plusieurs sont associées à cette simplification des régimes alimentaires. (Secrétariat de la CDB, 2008)

De plus, la biodiversité est la base de l'agriculture. Pourtant, l'agriculture est devenue sa plus grande menace. Selon le Programme des Nations Unies pour l'Environnement [PNUE], la « biodiversité est la variabilité des organismes vivants et des complexes écologiques dont ils font partie, y compris la diversité au sein des espèces (diversité génétique), entre espèces et des écosystèmes » (Secrétariat de la CDB, 2008). Considérant que 50 % des surfaces végétalisées sont dédiées à l'agriculture, que ces espaces renferment actuellement une très faible biodiversité agricole, la réduction des variétés de cultures constitue une très sérieuse menace à notre capacité de production future (WRI, 2018).

2.2.6. Le gaspillage alimentaire

Les conséquences désastreuses des limites du modèle agricole actuel présentées dans le présent chapitre servent toutes le même objectif ultime : produire de grands volumes à faible coût. Ce modèle offre des aliments toujours plus beaux, gros et esthétiquement parfaits présentés dans des rayons de supermarchés grandes surfaces donnant un sentiment d'abondance et d'uniformité. L'arrière-scène de l'ascension de ces critères déconnectés des réalités du champ ainsi que des mécanismes économiques régissant l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement est celle du gaspillage alimentaire.

Cette faille est hautement complexe puisqu'elle est intrinsèquement systémique. Elle soulève des questions tant éthiques, qu'économiques et environnementales. Des pertes sont effectivement générées à toutes les étapes d'approvisionnement et une distanciation généralisée quant au partage des responsabilités s'observe en raison de l'immensité des circuits. Les pertes alimentaires seraient aussi responsables d'une consommation excédentaire de 305 000 milliards de litres d'eau, d'une empreinte carbone s'élevant à 2,7 milliards de tonnes d'équivalents de CO₂ et des pertes économiques estimées à 750 milliards de dollars annuellement (FAO, 2014).

À ce lourd bilan, ajoutons que le gaspillage alimentaire signifie aussi que l'ensemble des répercussions négatives découlant des rouages de l'agriculture industrielle ayant servi à produire les aliments gaspillés ont eu lieu pour absolument rien. Tout comme la part correspondante de sacrifices et de saccages monumentaux causés par la destruction des habitats, la dégradation des sols, la perte de biodiversité subie par les écosystèmes et les conséquences sur la santé humaine a, elle aussi, été inutile. Il s'agit d'une des représentations les plus aberrantes des lacunes de notre système alimentaire actuel.

2.2.7. Complexité de la chaîne de production

La déforestation, l'usage de pesticides et engrais, les pressions excessives sur les ressources hydriques, la perte de diversité des cultures et le gaspillage alimentaire sont toutes des conséquences directes du mode de production qui repose aussi sur une diversité d'intermédiaires. En moyenne, la nourriture parcourt 2500 kilomètres [km] du champ à l'assiette des populations urbaines (Al-Kodmany, 2018).

Cette distance créée entre le producteur et le consommateur entraîne tout un lot de conséquences, tant environnementales, sociales qu'économiques. Évidemment, plus des aliments voyagent, plus leur transport requiert du carburant, plus les émissions de GES sont importantes. L'agriculture contribue à pas moins de 20 % des émissions mondiales totales et souffre directement des contrecoups imprévisibles des changements climatiques dans la gestion des cultures et des récoltes (FAO, 2017).

Aussi, l'éloignement avec la provenance des aliments bouleverse profondément notre rapport à la nourriture. Or, plusieurs spécialistes tels que Baillargeon et Beisinger (2017), affirment que le lien que nous maintenons

avec l'origine de ce que l'on mange impacte nécessairement de manière directe notre relation avec la nature. L'alimentation est la base de notre survie et notre nourriture est au cœur de qui nous sommes. Elle est notre premier contact avec le monde extérieur dans les premières phases de notre développement. Introduire des aliments dans son organisme représente alors effectivement un des liens les plus intimes qui soit avec la nature. Aimer la manière dont ils ont été produits, aimer ce qu'ils goûtent et ce à quoi ils ont l'air, ce qu'ils constituent dans notre identité culturelle et notre sentiment d'appartenance au territoire, être fiers de ceux qui les ont cultivés et de ce qu'ils représentent au nom de la biodiversité et de la communauté nous rend plus engagés à vouloir protéger ce qui les a créés.

2.2.8. Les injustices

Au cours du dernier siècle, s'alimenter est devenu une activité banale pour des milliards d'êtres humains. Depuis les années 1960, l'industrialisation de l'agriculture ainsi que les avancées scientifiques en la matière ont permis de fournir un meilleur apport alimentaire à une population en continuelle croissance. Pourtant, l'insécurité alimentaire demeure un enjeu qui afflige aujourd'hui des millions de personnes. D'après l'ouvrage *Destruction massive : Géopolitique de la faim* du sociologue et rapporteur spécial pour le droit à l'alimentation du Conseil des droits de l'homme des Nations unies Jean Ziegler (2011) :

« Toutes les cinq secondes un enfant de moins de dix ans meurt de faim, tandis que des dizaines de millions d'autres, et leurs parents avec eux, souffrent de la sous-alimentation et de ses terribles séquelles physiques et psychologiques ».

Il y a même que les dérives du capitalisme sauvage, comme l'accaparement des terres par les plus puissants, le développement des agrocarburants, les spéculations boursières sur les aliments de base et les politiques du Fonds monétaire international [FMI] maintenant le surendettement des pays du tiers-monde sont littéralement responsables de la mort de chaque enfant décimé par la faim. « Ainsi, pour que peu de personnes vivent mieux, la grande majorité de la population mondiale est condamnée à vivre mal [...] » (Aguiton et Cabioc'h, 2010). Pour en illustrer la grossièreté des injustices du système alimentaire, il est estimé qu'environ un tiers de la nourriture produite dans le monde est gâchée (Lim et al., 2017) alors que « la dénutrition joue un rôle dans environ 45 % des décès d'enfants âgés de moins de 5 ans » (OMS, 2017)

Parallèlement, l'agriculture industrielle est également impliquée dans une autre forme d'injustice soit : l'injustice climatique. L'agriculture envenime effectivement le cercle vicieux découlant du fait qu'elle contribue aux changements climatiques et qu'en même temps elle en souffre. La notion de justice climatique désigne l'égalité entre les groupes de population au sens éthique, moral, légal et politique par rapport au dérèglement climatique. (Otzelberger, 2014) Or, les pays défavorisés, les jeunes et les femmes sont les plus affectés par l'injustice climatique. Les luttes sociales et environnementales doivent alors impérativement être adressées conjointement.

3. NÉCESSITÉ DE TRANSITION : LES DÉFIS ALIMENTAIRES DE DEMAIN

Le chapitre 2 a levé le voile sur les conséquences les plus frappantes de l'agriculture industrielle. Dans ce chapitre, l'objectif est de cerner la pertinence de s'intéresser à des modèles agricoles alternatifs pour alimenter durablement et en quantité suffisante les populations de demain.

Les prévisions scientifiques alarmantes quant aux défis alimentaires des populations urbaines pour les années à venir s'entassent. Les prédictions sur le futur du développement du secteur alimentaire et agricole sont hautement complexes et comprennent une grande part d'incertitudes. La compréhension de ces grands défis anticipés est toutefois fondamentale à la sélection d'options alternatives efficaces. La FAO observe depuis une cinquantaine d'années déjà les grandes tendances mondiales qui menacent la sécurité alimentaire des populations humaines. Elle avance que les systèmes alimentaires font face à cinq grands défis majeurs : fournir suffisamment de nourriture pour répondre à la demande alimentaire croissante; éradiquer la faim et l'insécurité alimentaire; préserver et améliorer la productivité et la durabilité de l'usage des ressources naturelles; s'adapter aux impacts des changements climatiques (déjà en cours); contribuer à la mitigation des changements climatiques. (FAO, 2018a)

Le chapitre 3 visera d'abord la compréhension des concepts concernant les cinq défis alimentaires ciblés par la FAO. Ensuite, les lecteurs seront invités à amorcer une réflexion quant aux tangentes possibles et souhaitées pour affronter ces défis.

3.1. Faire face à la demande alimentaire croissante

Au cours du 19^e et 20^e siècle s'est observé le début d'une augmentation exponentielle de la population mondiale qui se poursuit toujours à l'heure actuelle. En chiffres : 968 millions en 1800, 1,6 milliard en 1900, 6,6 milliards en 2000 et 7,8 milliards en 2019 (Biraben 2003; Organisation des Nations Unies [ONU], 2019). Cette explosion démographique est principalement due à l'augmentation significative de la qualité de vie des populations, permise par les avancées des sciences médicales, la révolution industrielle et la mondialisation (Lanz, Dietz, et Swanson, 2018). Bien qu'il y ait toujours de profondes disparités entre les régions du monde, les progrès sanitaires, la mécanisation et l'intensification des méthodes agricoles, l'accessibilité aux soins de santé et à l'éducation ont permis de repousser les limites de la vie humaine (Pison, 2011).

Si la tendance se maintient, l'ONU (ONU, 2019) projette que la population mondiale, qui est actuellement de 7,8 milliards d'êtres humains, atteindra les 9,7 milliards d'ici 2050, 10,8 milliards en 2080 et 11,2 milliards en 2100. La population aura donc augmentée de plus de 30 % en 80 ans, une rapidité de croissance à laquelle l'humanité n'a jamais fait face. Ces projections reposent sur l'étude des variations moyennes démontrant un recul global du taux de fécondité, mais une chute du taux de mortalité infantile et un

allongement de l'espérance de vie. Il y aura toutefois de grandes disproportions dans la répartition de cette croissance.

« Parmi les 10 pays actuellement les plus peuplés, un seul se trouve en Afrique (Nigéria), cinq sont situés en Asie (Bangladesh, Chine, Inde, Indonésie et Pakistan), deux en Amérique latine (Brésil et Mexique), un en Amérique du Nord (États-Unis) et un en Europe (Fédération de Russie) » (ONU, 2019).

Au cours du prochain siècle, ce sera en Afrique et en Asie du Sud-est que l'augmentation de la population sera la plus forte. Neuf des 11,2 milliards d'êtres humains seront dans ces régions du monde, soit 80 % des individus sur Terre. Plus spécifiquement, plus de la moitié de la croissance démographique mondiale aura lieu en Afrique d'ici 2050, dont la population augmentera de 1,3 milliard au cours de cette période. En découlera ainsi nécessairement un profond débalancement de la pyramide des âges puisque près du tiers de la population sera âgée de moins de 25 ans. Parallèlement, l'ONU estime que 51 pays (en Europe et Amérique du Nord) connaîtront d'importants ralentissements de croissance, pouvant atteindre jusqu'à 15 % de diminution d'ici 2050. Ce ralentissement engendrera inversement un vieillissement de la population. « Entre 2000 et 2050, la proportion de la population mondiale de plus de 60 ans doublera pour passer d'environ 11 % à 22 % » (OMS, 2019).

Cette baisse démographique s'explique principalement par un taux de fécondité sous le seuil de renouvellement des générations de 2,1 enfants par femmes. En effet, dans les pays du G20, la moyenne d'enfants par femme est de 1,6 alors qu'en Afrique et en Asie du Sud-est, elle est respectivement de 5 et 2,5. (FAO, 2018; ONU, 2019) Selon Vallin et Meslé, (2010) l'espérance de vie en France est passée de 27 à 78 ans pour les hommes et de 28 à 85 ans pour les femmes entre 1750 et 2010, soit des gains respectifs de 51 et 57 ans. L'Organisation de coopération et de développement économiques [OCDE] (2016) avance également que l'espérance de vie dans le monde a augmenté de 5 ans entre 2000 et 2016, principalement en raison de la chute des mortalités infantiles.

Présentement, plus de la moitié du monde habite en milieux urbains. L'OCDE estime qu'en moins d'un siècle la proportion de la population vivant en ville aura passé de 30 % à 60 % entre 1950 et 2030. Dans dix ans à peine, il s'agira des deux tiers de la population mondiale qui occuperont les territoires urbanisés. (OCDE, 2013). Les terres agricoles sont menacées par l'expansion de cette urbanisation. À titre d'exemple, la FAO a démontré qu'entre 1961 et 2003, « l'Union européenne a perdu 30 millions d'hectares de surfaces agricoles [...], ce qui représente une perte nette de 770 000 hectares par an. » (FAO, 2017). Les dynamiques spatiales des activités de production, consommation, distribution, transformation seront aussi profondément affectées. L'urbanisation engendrera effectivement une diminution proportionnelle de la force de travail en milieux ruraux par rapport aux milieux urbains, c'est-à-dire qu'il y aura plus de gens à nourrir et moins de personnes en position de produire de la nourriture. (Esnouf, Russel, et Bricas, 2011) Aussi,

l'étalement des zones urbaines et le recul des zones agricoles induisent une augmentation de la destruction des espaces naturels, essentiels à la résilience des systèmes alimentaires.

Une croissance économique généralisée est aussi anticipée parallèlement à la croissance démographique prévue. Actuellement, le revenu moyen par habitant est de 11 000 \$ US par année (43 000 \$ US dans les pays à hauts revenus et 3900 \$ US dans les pays à faibles et moyens revenus), ce qui représente le double par rapport à la situation de 1970. L'augmentation rapide de la croissance des revenus, principalement dans les pays en émergence, tend à créer une classe moyenne globalisée. Certaines préférences alimentaires découlent de cette hausse moyenne du pouvoir d'achat. Par la forte augmentation de la demande, la nourriture devient alors de plus en plus abordable et les consommateurs demandent de plus en plus de diversité, ce qui génère systématiquement une part importante de gaspillage alimentaire. (FAO, 2018)

Ainsi, la production alimentaire devra impérativement s'ajuster pour répondre à ces enjeux démographiques. Les augmentations démographiques projetées ainsi que la montée du pouvoir d'achat entraîneront une hausse significative de la demande alimentaire. Selon le rapport « Créer un avenir alimentaire durable » du WRI (2019), un écart calorique de 56% serait à combler d'ici 2050, par rapport aux seuils de 2010.

3.2. Éradiquer la faim et l'insécurité alimentaire

Est-ce que tous ces gens mangeront à leur faim? Le rapport annuel édition 2018 de la FAO, *L'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde*, révélait que la faim dans le monde est en progression. Le nombre absolu de personnes ravagées par la sous-alimentation, c'est-à-dire qui souffrent de carence alimentaire chronique, est en hausse depuis trois années consécutives, passant de 784 à 821 millions, soit une personne sur neuf (Olivier, 2017). Toutes proportions gardées, il s'agit d'une hausse relativement faible par rapport au recul des dernières décennies, mais elle empêchera tout de même l'atteinte des objectifs du « Défi faim zéro » de l'ONU. Ce dernier cible notamment l'élimination de la faim et de toutes formes de malnutrition d'ici 2030 (ONU, s. d.).

Fait important : « L'agriculture d'aujourd'hui serait en mesure de nourrir normalement 12 milliards d'êtres humains, soit près du double de la population mondiale » (Ziegler, 2011). La source du problème ne réside alors pas dans le manque de ressources, mais bien dans les inégalités profondes de répartition générées par les systèmes alimentaires actuels. Les modèles agricoles dominants échouent lamentablement à assurer l'approvisionnement équitable en nourriture. Effectivement, la disponibilité calorique varie drastiquement d'une région à l'autre. Près de 90 % des gens souffrant des lésions et séquelles permanentes de la faim sont en Asie du sud et en Afrique Subsaharienne tandis que le taux de surpoids et de problèmes liés à l'obésité dans les pays occidentaux monte en flèche d'année en année. (FAO, 2017) Comme ce sont les pays à bas et moyens revenus qui connaîtront les plus grandes hausses de population,

la demande alimentaire augmentera significativement dans ces régions, et c'est précisément à cet endroit que la faim frappe. À cette profonde injustice géographique, ajoutons qu'un tiers de la production alimentaire mondiale est systématiquement gaspillée (RECYC-QUÉBEC, 2016), tel que vu à la section 2.2.6 de ce document.

L'insécurité alimentaire est un symptôme des dysfonctions des systèmes alimentaires actuels qui faillent vraisemblablement à nourrir convenablement les actuels 7,2 milliards d'êtres humains. De sérieuses inquiétudes émergent quant à la capacité de nos modèles actuels à assurer la sécurité alimentaire de toutes les populations à la vue des prévisions pour le prochain siècle.

3.3. Améliorer la durabilité de l'usage des ressources naturelles

De quoi nous nous approvisionnerons? En 2008, il était estimé que 800 millions d'hectares, soit 38 % de tout l'espace terrestre de la terre était dédié à la production agricole. Pour faire face à la demande d'une population en continuelle croissance, d'ici 50 ans, ce serait 109 millions d'hectares supplémentaires de fermes conventionnelles qui seraient nécessaires, soit un espace que nous n'avons tout simplement pas. (Despommier et Ellingsen, 2008) Or, la perte d'habitat est considérée comme étant la principale pression anthropique directe exercée sur l'intégrité et la pérennité des écosystèmes, essentielle à la résilience des cultures (Secrétariat de la CDB, 2010).

Un parallèle est effectivement nécessaire à faire entre la dégradation de la biodiversité causée par la destruction des habitats et la résilience du système alimentaire. L'usage des nouvelles technologies de mécanisation a mené à la standardisation des types de cultures via le travail de friches en monoculture. Effectivement, plusieurs machines agricoles sont conçues pour un type de plantation spécifique, une uniformisation fut alors nécessaire pour opérer la transition vers la mécanisation de l'agriculture. La monoculture est à l'inverse des procédés écosystémiques naturellement présents dans l'environnement d'origine des plantes domestiquées. La résilience naturelle de ces dernières en est alors affectée. Que ce soit vis-à-vis les attaques fongiques, les infestations d'animaux et insectes ravageurs, les propagations de maladies ou les aléas naturels, les espèces cultivées en monoculture deviennent significativement plus vulnérables. C'est cette nouvelle vulnérabilité qui a motivé le développement de l'usage systématique de produits fertilisants puissants et de pesticides. Ces derniers sont chargés de contaminants déséquilibrant l'équilibre des sols et mettant fortement en péril l'intégrité des milieux aquatiques. Le recours à la monoculture engendre la raréfaction des espèces sauvages et la vulnérabilité de la diversité génétique des plantes cultivées et compromet la sécurité alimentaire dans le monde. (Lanz, Dietz, et Swanson, 2018) En effet, « les trois quarts de la diversité génétique des plantes cultivées ont disparu au cours du 20^e siècle et l'essentiel de l'alimentation humaine repose maintenant donc sur 12 espèces végétales et 14 espèces animales ». (Groleau, 2016)

Ensuite, le mode de culture intensive induit un épuisement de la rentabilité des terres cultivables. Selon le rapport *The future of food and agriculture: alternative pathways to 2050* de la FAO (2018a), un tiers des terres agricoles sont de modérément à hautement dégradées en raison des monocultures qui appauvrissent les sols et de l'usage massif de pesticides. Ce mode de production engendre également un stress sur les ressources en eau. Toujours selon ce rapport, l'agriculture serait responsable de 70 % de la déplétion des ressources aquifères, en plus de les contaminer gravement. L'emploi de fertilisants, de pesticides et de carburants fossiles pour la machinerie est la principale source de contamination des nappes d'eau. La Banque mondiale estime que les besoins en nourriture feront croître le nombre de productions agricoles de 50 %, augmentant ainsi de 15 % les besoins en eau à l'échelle du globe (Khokhar, 2017),

En conséquence, conserver les modèles agricoles actuels signifierait que l'augmentation de la population engendrerait la poursuite de l'expansion des terres à cultiver et donc de la destruction et de la contamination des milieux naturels, diminuant encore le rendement des terres et rendant la résilience alimentaire mondiale inatteignable.

3.4. Adaptations et mitigations des changements climatiques

Dans quelles conditions climatiques cultiverons-nous? Dans ses documents, la FAO dissocie l'adaptation et la mitigation aux changements climatiques en deux sections. Dans le cadre du présent ouvrage, ces défis seront présentés conjointement, étant donné que les rapports de causes à effets sont intrinsèquement interreliés.

Les GES sont présents naturellement dans l'atmosphère et sont essentiels à la vie sur terre. Ce sont des gaz tels que l'eau, le dioxyde de carbone et le méthane et ils permettent d'avoir une température propice à la vie (M. J. Olivier, 2017). Le réchauffement climatique se résume toutefois en l'augmentation importante de la quantité de GES dans l'atmosphère, faisant alors emprisonner la chaleur et augmenter les températures. Les études se multiplient pour démontrer que « l'influence de l'homme est la cause principale du réchauffement observé depuis le milieu du 20^e siècle » (IPCC, 2014). Les activités anthropiques causent effectivement un forçage climatique et seraient la principale cause du réchauffement de la planète observé et anticipé.

Dans son plus récent rapport, le GIEC déclare que l'humanité a 10 ans pour réaliser une transition « rapide » et « sans précédent » afin de limiter le réchauffement climatique au seuil du 1,5 degré Celsius [°C], sans quoi, une cascade de perturbations massives entraînerait des conséquences désastreuses, notamment, des vagues de chaleur et de sécheresse intenses; la propagation d'espèces exotiques envahissantes; le réchauffement des océans et la destruction des récifs coralliens; la fonte des glaciers et du pergélisol; l'acidification et la hausse du niveau des océans et l'extinction massive de millions

d'espèces animales et végétales. (GIEC, 2018) Les précipitations seront plus irrégulières et plus imprévisibles, tandis que le réchauffement des océans multipliera les inondations et les tempêtes (Banque mondiale, 2016).

Le secteur de l'agriculture est directement affecté par les effets des changements climatiques. Les conditions de cultures changent de manière extrême et réduisent les rendements en mettant à risque les récoltes (Bommert et Landzettel, 2019). En effet, un rapport de l'ONU mentionne que « 19 des 27 pays où la sous-alimentation est liée à de sévères épisodes de sécheresse se trouvent en Afrique. Du lot, l'Éthiopie et la Somalie sont les plus vulnérables en ce moment [...] » (Beaudoin, 2018). Ces conditions imprévisibles restreindront la production agricole, affectant la disponibilité alimentaire et la stabilité des stocks de nourriture. Une augmentation de la précarité et de la vulnérabilité des régions les plus durement affectées est à anticiper. Ce degré de vulnérabilité repose sur le niveau d'exposition aux variations climatiques, la proportion des revenus basés sur l'agriculture et leur capacité d'adaptation (FAO, 2018a).

Tel que mentionné à la section 2.2.7 du chapitre précédent, un autre lien existe entre l'agriculture industrielle et les changements climatiques, soit celui qui repose sur le paradoxe de la contribution significative du secteur agricole aux changements climatiques. L'essentiel des émissions agricoles est produit par l'usage de carburants fossiles pour l'ensemble de la chaîne de production (culture, transport, transformation, vente et fin de vie) et la digestion des ruminants qui produit du méthane, un GES 23 fois plus dommageable que le CO₂.

Dès lors, l'agriculture industrielle telle qu'on la connaît à ce jour est prise dans un cercle vicieux, car elle est gravement affectée par les changements climatiques et y contribue fortement à la fois. (FAO, 2017) Au rythme actuel, plus la population augmente, plus la demande alimentaire et les effets des changements climatiques s'intensifient, augmentant ainsi la précarité des récoltes et les rendant moins capables d'assurer la sécurité alimentaire. L'agriculture devra rapidement œuvrer pour s'adapter aux variations déjà enclenchées et à celles anticipées, en plus d'adapter ses méthodes pour cesser de contribuer si fortement au problème.

3.5. Les grandes tangentes vers un changement de paradigme

Et maintenant qu'est-ce qu'on fait? De quoi sera fait demain? Le système alimentaire dominant, que nous connaissons maintenant bien, a été et est toujours valorisé pour sa capacité à produire et distribuer des aliments en grande quantité et à faible coût partout sur la planète. Ce sont précisément ces visées productivistes qui sont de plus en plus remises en question. Le lourd bilan des ravages écologiques, des pertes économiques et des injustices sociales qu'elles génèrent est devenu insupportable pour un nombre grandissant d'acteurs impliqués depuis la fourche jusqu'à la fourchette. Les conséquences sont systémiques, multiscalaires et multifacettes. Devant la pluralité et la complexité des enjeux exposés dans

les deux précédents chapitres, l'appel pour entamer un réel changement de paradigme quant à notre rapport avec l'alimentation est bien tangible dans le monde agricole. Les grandes questions fondamentales qui le régissent sont: comment nourrir le monde sans le détruire? Comment parvenir à nourrir adéquatement près de 9,7 milliards de personnes d'ici 2050 d'une manière aidera à combattre la pauvreté et qui permettra au monde d'atteindre les cibles climatiques et de réduire les pressions sur les écosystèmes? « Il ne s'agit plus de se demander comment produire plus, mais bien comment produire et distribuer mieux » (Houde-Tremblay, 2019).

La nécessité de transition s'orchestre autour d'un projet qui permettrait l'avènement d'un nouvel ordre agricole délaissant la production à moindre coût qui refile toujours la facture des conséquences à plus tard et aux populations les plus vulnérables (Fortier et Lortie, 2019). Elle est portée par un fourmillement de solutions et d'innovations hétérogènes émergentes aux ambitions communes et porteuses d'espoir. Différentes motivations peuvent néanmoins animer ces innovations. Certaines adresseront les problématiques actuelles via les couches systémiques plus rapides mais superficielles, alors que d'autres s'attaqueront aux couches systémiques plus lentes mais plus profondes.

3.5.1. Hightech vs lowtech

Parmi les différents pôles structurant les tendances au changement de paradigme agricole, on retrouve de fortes tangentes émergentes s'orientant vers les *hightech* alors que d'autres plutôt vers les *lowtech*. Dans le premier cas, on imagine un modèle ayant recours à de nombreuses innovations scientifiques et technologiques complexes pour optimiser au maximum l'ensemble des processus agricoles. Dans le second cas, on vise une recherche d'autonomie via l'application de techniques simples, sobres en énergie arrimées aux processus naturels opérant dans les écosystèmes. (Marsden, 2017)

Les deux modèles se confrontent et polarisent les débats entourant la nécessité de changement de paradigme agroalimentaire en vantant respectivement leurs vertus promises. Du côté des fermes verticales, Dickson Despommier, le penseur derrière ce concept, est entre autres persuadé que :

« [grâce] à l'utilisation de différents types de technologies avancées, les fermes verticales sont un nouveau type d'agriculture à environnement contrôlé maintenant devenues une solution à la plupart des problèmes dérivant de l'agriculture traditionnelle extérieure » (Despommier, 2019).

Un des pionniers de l'agroécologie, publiant dans des revues scientifiques sur le sujet depuis près de 40 ans, est le professeur de l'Université de Berkeley Miguel Altieri. Il prêche en faveur de l'usage des *lowtech* pour permettre l'essor d'un système alimentaire agroécologique et met en garde quant aux risques de l'usage massif et exclusif des *hightech* :

« Dans le domaine technologique, modifier simplement les pratiques pour réduire l'utilisation des intrants est un pas dans la bonne direction mais ne conduit pas nécessairement à la refonte d'un système agricole plus autosuffisant et autonome » (traduction libre de : (M. Altieri et al., 2017).

Les deux écoles de pensée s'accordent pour dire qu'une réforme des façons de faire s'impose, mais n'abondent pas dans la même direction quant aux tangentes à prioriser. Les prochains chapitres viseront à étudier les deux pistes de solutions émergentes aux enjeux agricoles issus de ces deux dimensions distinctes.

4. HIGHTECH : LES FERMES VERTICALES

Parmi les percées du monde des hightech, on retrouve les fermes verticales. Présentées comme étant plus économes, plus productifs, plus locaux, moins chimiques, les projets se multiplient partout à travers le monde, principalement en Asie et aux États-Unis. Il pourrait s'agir effectivement d'une solution crédible pour faire face aux défis alimentaires présentés dans le précédent chapitre. Ce quatrième chapitre vise en premier lieu à présenter les origines du concept ainsi que les principales caractéristiques qui le définissent. Par la suite, leurs principes et fonctionnements seront exposés. Les différents avantages promis par les précurseurs des fermes verticales seront ensuite relatés, pour terminer avec trois exemples existants afin de comprendre comment elles peuvent se matérialiser et potentiellement contribuer réellement aux enjeux alimentaires projetés.

4.1. Origines et définition du concept

Le concept de fermes verticales regroupe diverses pratiques basées sur le fait de cultiver des quantités significatives d'aliments dans ou sur des bâtiments. Que ce soit sur des parois, dans des tours ou autres structures verticales, l'idée vise à éliminer les perturbations connues de l'agriculture horizontale conventionnelle. (Goldstein, 2018)

Le premier à avoir théorisé et popularisé le concept d'agriculture verticale est le microbiologiste Dickson Despommier en 1999. Le professeur émérite de l'Université de Columbia à New York vantait déjà les bienfaits potentiels d'une production intensive sur petite surface permettant une alimentation de proximité, peu polluante et exempte de produits chimiques néfastes pour la santé. Il définit le concept comme étant des cultures légumières ou fruitières empilées dans des structures où l'entièreté des paramètres normalement produits par les écosystèmes et les cycles naturels sont reproduits artificiellement. (Despommier, 2009)

Selon Despommier, si les techniques agricoles et les modes de consommation demeurent sous le joug de production en monoculture extérieure, c'est l'équivalent d'un nouveau territoire plus grand que le Brésil qui devra être déforesté pour parvenir à nourrir le monde d'ici 2050. Il incite à se tourner vers les fermes verticales pour parvenir à produire plus et mieux sur un espace restreint. Il imagine avec ses étudiants des fermes urbaines abritées dans de hautes tours vitrées, qu'ils nommeront les *Farmscrapers*.

Dans son ouvrage *The Vertical Farm : Feeding the World in the 21st Century*, Despommier (2011) déclare qu'il est temps de confronter la pollution agrochimique, de convertir les déchets en énergie, de préserver l'eau, d'arrêter de convertir des forêts en champs et de créer des villes aussi saines et équilibrées que des écosystèmes (Seaman, 2010). Les architectes et entrepreneurs divers devinrent effectivement à ce stade de plus en plus nombreux à vouloir intégrer des cultures végétales verticales à différentes échelles dans leurs projets d'infrastructures. Les formes que les fermes verticales peuvent prendre sont aussi multiples et

sans limite que l'imagination de leurs designers. Qu'il s'agisse de fermes verticales en gratte-ciel entiers, dans des entrepôts, des plateaux à étages, des conteneurs, sur des toits ou encore, intégrées à du mobilier urbain ou intérieur, le phénomène prend de l'ampleur et se développe aux quatre coins du monde. (Marks, 2014)

La littérature distingue effectivement trois formes de fermes verticales. Le premier type, les fermes de taille basse, consiste en la mise en place de structures soutenant des plateaux ou des tours de croissance de deux ou trois étages tout au plus dans de nouveaux ou anciens bâtiments. Le deuxième prend place sur des toits d'immeubles résidentiels, commerciaux et industriels, existants ou conçus à cet effet. Le dernier type, celui que promeut le plus Despommier, les *Farmscrapers*, est encore sur les tables à dessins. Il comprend différents projets de construction de méga tours visionnaires à plusieurs étages conçues spécialement pour la production agricole hors-sol. Ils peuvent incorporer d'autres usages et inclure des espaces de bureaux, des commerces, des restaurants et des logements. Plusieurs sketches et prototypes de ce genre se cumulent depuis le début des années 2000, mais aucun n'a encore vu le jour.

Dans un cas comme dans l'autre, on mise sur des fonctionnements *hightech* incluant des matériaux et des systèmes complexes souvent opérés grâce à la robotique et l'intelligence artificielle pouvant réguler soigneusement une atmosphère confinée, des nutriments dosés avec grande précision et un éclairage paramétré. Il s'agit en effet d'une méthode rendant possible l'artificialisation quasi totale des procédés normalement retrouvés en milieux naturels afin d'assurer la croissance des plantes. Toutefois, il est à noter que comme aucun intrant ne s'y retrouve sans être voulu, cela implique qu'il y a absence d'insectes et donc la pollinisation devient fort complexe. C'est pour cette raison que pour le moment, ces cultures regroupent principalement des légumes à feuilles (Al-Kodmany, 2018).

4.2. Principes et fonctionnements

La présente section s'intéressera uniquement aux fermes verticales ayant recours aux différentes formes d'hydroponie puisqu'elles constituent la vaste majorité des cas. Les fonctionnements qui y sont associés sont moins familiers donc plus pertinents à analyser.

4.2.1. Éclairage

Bien que certaines fermes verticales peuvent utiliser la lumière naturelle pour faire croître les plants grâce à l'implantation de plateaux de cultures dans des espaces entièrement vitrés, la grande majorité a recours à des systèmes d'éclairage artificiel sophistiqués (Ungvarsky, 2019). Il s'agit d'une part importante de ce mode de production puisque les coûts totaux de ce type d'éclairage représentent environ 25 à 32 % des coûts opérationnels totaux (Smith, 2015). C'est l'emploi de tubes suspendus de lumière à diode électroluminescente [LED] à haute intensité et basse consommation d'énergie qui est privilégié. Les lumières peuvent être allumées de 16 à 17 heures par jour et consommer en moyenne 70 % des

kilowattheures quotidiens nécessaires au fonctionnement des fermes verticales (Goldstein, 2018). Il est important de noter que dans le calcul de consommation énergétique moyen des systèmes d'éclairage, on inclut aussi l'énergie nécessaire pour faire fonctionner les ordinateurs qui automatisent l'éclairage assurant les procédés de photosynthèse. Le réglage du nombre d'heures, du spectre de lumière et de l'angle des tubes optimise effectivement la croissance des végétaux.

4.2.2. Énergie

L'alimentation des systèmes de gestion interne est un facteur central au bon fonctionnement des fermes verticales. Qu'il s'agisse de l'éclairage, du chauffage, de la réfrigération, du fonctionnement des pompes, des régulateurs de qualité de l'air, des processeurs et ordinateurs de contrôle automatique, les sources d'énergie sont déterminantes dans tout projet de ce type. (Smith, 2015) Les coûts d'électricité peuvent effectivement être exorbitants. Despommier avance tout de même que les fermes verticales sont hautement efficaces énergétiquement. Plusieurs explorations ont dû être faites pour intégrer plus facilement le photovoltaïque, l'éolien, ou encore, intégrer des facteurs synergétiques à même le bâtiment dans lequel la ferme est implantée afin de réduire ces coûts. Dans ce dernier cas, la ferme pourrait bénéficier par exemple des rejets d'air chaud ou d'air froid de bâtiments avoisinant ou d'autres sections du même bâtiment. (Al-Kodmany 2018)

4.2.3. Main d'œuvre

Selon Henry Gordon Smith, gestionnaire et conseiller régional de l'*Association for Vertical Farming in North America*, la main d'œuvre peut représenter 25 % des coûts opérationnels. La robotisation occupe une part importante de l'automatisation des procédés de production. Comme les manipulations doivent être d'une exactitude irréprochable pour maintenir l'équilibre des organismes contrôlés, la robotique permet d'esquiver une grande marge d'erreur et donc de réduire certains coûts. Les besoins en main-d'œuvre requièrent donc peu d'employés, mais nécessite l'embauche de gens hautement qualifiés tels que des ingénieurs, des designers ou informaticiens. (Smith, 2015)

4.2.4. Hydroponie

Ce sont divers systèmes hydroponiques qui permettent l'avènement des cultures hors-sol que l'on retrouve dans la forte majorité des fermes verticales, toutes formes ou design confondus. Hydroponie signifie en grec « travail de l'eau »(Gabrieli, 2019). Il s'agit en effet d'un terme générique englobant différentes méthodes et technologies impliquant le travail de l'eau pour la croissance des plantes. En plein sol, l'eau dissout les nutriments naturellement contenus dans la terre pour qu'ensuite les racines puissent les absorber. Dans le cas de l'hydroponie, les plantations captent les nutriments nécessaires à leur croissance via un mélange d'eau et de nutriments, sans avoir recours à la terre. Ces nutriments sont méticuleusement sélectionnés en fonction de leurs besoins spécifiques afin d'en assurer un rendement optimal.

(Asaduzzaman, 2016) Les végétaux se trouvent dans ce qu'on appelle des chambres de cultures, qui sont composées d'un contenant, d'un substrat et des plantes. L'eau et les nutriments y sont acheminés via différentes méthodes d'irrigation qui seront exposées dans la sous-section 4.2.7.

4.2.5. Bioponie

Comme le stipule l'entrepreneur français en permaculture verticale Swen Déral, « l'équation pour faire pousser une plante est simple : de l'eau, du soleil, du CO₂ et des nutriments. Chacun peut choisir les nutriments qu'il ajoute dans l'eau, mais il est possible de n'utiliser que des engrais et des graines biologiques » (Lucchese, 2017). En effet, en hydroponie comme en agriculture traditionnelle, les producteurs ont le choix d'utiliser des engrais et nutriments de synthèse, dont nous connaissons déjà les multiples impacts dommageables, ou d'origines naturelles. La bioponie est le terme désignant l'ajout de nutriments organiques pouvant être intégrés à partir d'autres matières existantes à même la ferme, tel que le compost ou le purin végétal. En d'autres mots, c'est la version biologique de la culture hydroponique. (Shubha, Mukherjee, Dubey et Koley, 2019)

4.2.6. Aquaponie

L'aquaponie désigne une combinaison d'hydroponie et d'aquaculture pour produire à la fois des plantes et des poissons. Ainsi, plutôt que d'ajouter manuellement des nutriments, on incorpore des poissons qui créent un circuit symbiotique avec l'eau et les plantes. Cette symbiose se caractérise par l'utilisation des déchets riches en nutriments produits par les poissons pour fertiliser les chambres de culture hydroponique. À leur tour, les racines des plantes retrouvées dans ces chambres agissent comme des biofiltres, éliminant les gaz, les acides, l'ammoniac, les nitrates et les phosphates retrouvés dans l'eau qu'elles reçoivent. L'eau fraîchement filtrée peut alors être recyclée dans les aquariums pour démarrer un prochain cycle. (Pattillo, 2017)

Le seul intrant potentiel peut demeurer la nourriture donnée aux poissons. Des solutions existent toutefois pour réellement viser un circuit fermé total. Les poissons peuvent par exemple être nourris à partir d'autres déchets organiques produits dans la ferme. Aussi, pour atteindre un objectif de biomimétisme supérieur, les poissons peuvent même se retrouver dans des marécages composés d'écosystèmes réels et ne demandant pas d'intervention humaine pour la gestion des ressources. (Suhl et al., 2019) Toutefois, il est à noter que le maintien de l'équilibre est plus fragile et complexe, car il y a davantage d'organismes vivants différents à faire vivre, et ces derniers ont tous des besoins physico-chimiques différents.

4.2.7. Méthodes d'irrigation

Qu'on opte pour l'hydroponie classique, ou la bioponie ou l'aquaponie, il existe cinq méthodes principales d'irrigation des plantes : l'irrigation goutte-à-goutte, le *Nutrient film technique* [NFT], le système à marée, la culture en eau profonde et l'aéroponie. Dans la première technique, aussi appelée micro-irrigation ou irrigation localisée, l'utilisation de l'eau et des engrais est réduite au maximum. On en trouve des traces datant de l'Antiquité, où des pots d'argile remplis d'eau était enterrés près des plantations. L'eau s'accumulait dans les pots et se déversait peu à peu dans le sol. (Ray, 2017) Le goutte-à-goutte hors-sol est bien spécifique aux fermes verticales, bien que le fonctionnement repose sur le même principe. Les plantes se trouvent dans des contenants, très majoritairement composés de matériaux pétro-sourcés, remplis de minéraux tels que la vermiculite, la perlite, les billes d'argile, la laine de roche, les fibres de coco ou encore des substrats de culture volcanique. Tous ces substrats ont l'avantage d'être très légers, d'être chimiquement inertes, d'être isolants et d'avoir une bonne capacité de rétention de l'eau. L'eau chargée de nutriments se répand lentement vers les racines formées à travers ces minéraux via un système de tuyautage microperforé (figure 4.1). (Despommier, 2009)

La pompe prend l'eau chargée de nutriments dans un réservoir et l'envoie vers les chambres de culture qui se trouvent surélevées par rapport au réservoir. Le système racinaire, filtre l'eau en captant les nutriments et elle retourne ensuite dans le réservoir, prête à repartir pour un nouveau cycle. Le système économise alors d'énormes quantités d'eau et de nutriments puisqu'ils tournent en permanence jusqu'à leur absorption totale par les plantes et que rien n'est relâché dans la nature.



Figure 4.1 Irrigation goutte-à-goutte (Pattillo, 2017)

La deuxième méthode, le NFT, fut inventée par l'anglais Allen Cooper en 1960 et est maintenant la technique hors-sol la plus utilisée pour la culture de légumes à feuilles. Elle consiste à faire circuler le milieu nutritif de manière à favoriser l'oxygénation dans une fine pellicule d'eau sous les racines des plantes. Les racines sont ainsi en contact avec l'eau et l'air simultanément. Comme pour toutes les méthodes d'irrigation en hydroponie, l'eau est pompée d'un réservoir, mais dans ce cas précis, elle est pompée dans des rigoles, souvent faites en polychlorure de vinyle [PVC], où se trouvent les végétaux. (Ibrahim, Solahudin, et Widodo, 2015) Tel qu'illustré à la figure 4.2, ce système est très compact, modulable et mobile, offrant une grande flexibilité dans les méthodes de récoltes.



Figure 4.2 Irrigation par NFT (Pattillo 2017)



Figure 4.3 Irrigation par système à marée (Pattillo, 2017)

Le système à marée quant à lui (figure 4.3), irrigue les plantes en inondant puis en drainant la chambre de culture, appelée table à marée, se trouvant dans un grand conteneur étanche. Les végétaux sont placés directement dans le substrat inerte qui reçoit et s'humecte du mélange d'eau et de nutriments pompé d'un réservoir comme pour les autres méthodes. Un système de siphon installé au fond des tables de marées renvoie l'eau dans le réservoir et évite qu'elle ne stagne une fois le drainage terminé. Les plantes peuvent ainsi s'alimenter en oxygène entre les cycles d'arrosage. (Pattillo, 2017)

Dans la culture en eau profonde illustrée à la figure 4.4 de la page suivante, les plantes sont supportées par des matières flottantes, appelées radeaux, et les racines sont totalement submergées dans le milieu nutritif aqueux. Comme les racines sont en contact permanent avec les éléments nutritifs, cette méthode permet d'atteindre un niveau de rendement élevé puisqu'elle peut produire rapidement de très gros légumes. Toutefois, afin d'éviter l'hypoxie des racines, c'est-à-dire le manque d'oxygène, le système doit inclure un compresseur et d'une pompe à air afin d'insuffler de l'oxygène manière constante dans le bassin contenant la solution. (Pattillo, 2017)



Figure 4.4 Irrigation par culture en eau profonde

(Pattillo, 2017)

Finalement, l'aéroponie est considérée comme étant l'évolution technologique de l'hydroponie (figure 4.5), quoi qu'en soit très peu développée. Bien que les concepts de base demeurent les mêmes, la principale différence réside dans le type de contact des végétaux avec la solution nutritive. En effet, l'hydroponie utilise l'eau comme milieu de culture alors que pour l'aéroponie, les racines sont en contact avec une brume composée de l'eau et des nutriments nécessaires à la croissance des plantes. La brume est générée dans un espace complètement clôt par des atomiseurs mécaniques ou des brumisateurs à ultrasons. (Lakhiar et al., 2020)



Figure 4.5 Système aéroponique (Scoop. it!,s.d)

4.3. Promesses avancées

Derrière ses apparences de production usinière, les fermes verticales défendent des valeurs environnementales fortes. D'abord, Despommier estimait déjà au début des années 2000 qu'une seule ferme verticale occupant l'espace d'un îlot urbain sur une hauteur de 30 étages sur 5 acres parviendrait à produire l'équivalent de 2400 acres de cultures traditionnelles et à alimenter 10 000 personnes sur toute l'année, peu importe la région du monde. Elles parviendraient de cette façon à atteindre un rendement 4 à 5 fois plus élevé que l'agriculture industrielle actuelle. Cette optimisation s'opère grâce la réduction maximale de tous les intrants nécessaires et par la protection des cultures devant les aléas climatiques et les ravageurs (Al-Kodmany, 2018).

Les prochaines sous-sections synthétiseront ces promesses qui reposent sur trois grands engagements : l'efficacité agricole, la résistance aux aléas climatiques et la conservation des écosystèmes. Il a été vu qu'il existe trois catégories de fermes. Ce sont les promesses avancées par le modèle des *Farmscrapers* hydroponiques et/ou aquaponiques, vanté par Despommier, qui seront ici étayées. Les travaux de ce dernier furent et sont toujours hautement influents sur les projets en cours et à venir mais très peu d'autres chercheurs se sont penchés sur la question. Comme nous en sommes encore aux prémices de ce modèle et que les informations sont encore limitées, seules les expectatives des *Farmscrapers* seront exposées.

Une prémisse des questionnements soulevés par l'analyse primaire des informations factuelles issues des fermes verticales sera développée à la fin de chaque sous-section. Néanmoins, les limites observées seront davantage traitées dans le chapitre d'analyse critique, soit le chapitre 6, alors que d'autres devront être délaissées pour respecter le cadre de recherche du présent travail.

4.3.1. Efficacité agricole

Le premier avantage comprend le contrôle des milieux de culture et le paramétrage de besoins spécifiques à chaque plante accédant à une production maximisée, c'est-à-dire où l'on arrive à produire rapidement de gros légumes sur une très petite surface en utilisant très peu d'intrants. On superpose alors des plateaux de cultures qui peuvent arriver à maturité en 14 à 28 jours (Despommier, 2009). De plus, il est possible de produire indépendamment du cycle de lumière régulant l'alternance entre le jour et la nuit que l'on appelle le rythme nyctéméral. Ce rythme qui correspond au cycle biologique de 24 heures peut aussi être réglé de sorte à accélérer le processus de maturation des plantes, générant ainsi plusieurs généreuses récoltes par an. Comme les racines n'ont pas besoin de prendre d'expansion pour aller puiser des nutriments et l'oxygène dans le sol, les plants peuvent être beaucoup plus rapprochés, donc aussi contribuer à augmenter la productivité. La plante ne gaspille pas non plus d'énergie à produire des racines, alors elle dirige ses efforts vers la production de matières organiques au-dessus de la surface, donnant ainsi de plus grosses récoltes. (Asaduzzaman, 2016) Aussi, en dosant bien la nutrition, en choisissant judicieusement les variétés

et en récoltant à maturité, il est possible d'avoir accès à des légumes d'excellente qualité nutritive et au goût exceptionnel.

En étant dans un milieu complètement clôt, on réduit aussi les risques sanitaires associés à l'exposition aux pathogènes et maladies infectieuses ou encore à la destruction des récoltes par des ravageurs. En n'ayant pas recours aux engrais chimiques et aux pesticides, on diminue aussi les potentiels dommages sur la santé humaine et les écosystèmes. (Lucchese, 2017)

Ajoutons que comme les aliments sont produits à proximité des consommateurs, le gaspillage alimentaire peut être réduit (Ménard, 2013). Autrement dit, la proximité réduit le nombre d'étapes entre la production et la consommation des produits. Ce rapprochement élimine d'autant plus les autres formes de pertes encourues dans la chaîne d'approvisionnement actuelle. Parmi ces pertes, on compte notamment celles associées à la manutention, au transport, à la transformation, à l'emballage, à la réfrigération puis à la mise en marché jusqu'à l'achat. En effet, l'ampleur et la complexité de la chaîne d'approvisionnement alimentaire ainsi que la distanciation entre chacune des étapes sont à la base de la grande majorité des conséquences négatives de l'agriculture industrielle. (FAO, 2018a)

Selon Despommier, cette proximité contribuerait aussi à la sécurité alimentaire des collectivités en les rendant plus résilientes grâce à l'accessibilité à d'aliments frais, nutritifs et abordables. Cette abordabilité est justifiée par la rapidité de croissance des plants qui permettrait un très haut rendement et donc un amortissement rapide des coûts initiaux. De plus, la création de main d'œuvre qualifiée locale dynamiserait l'économie des régions abritant des fermes verticales. (Despommier et Ellingsen, 2008)

Cette efficacité agricole serait aussi au service de l'amélioration de la qualité de vie des milieux urbains. De surcroît, les végétaux se trouvant dans les fermes verticales pourraient offrir des services écologiques tels que la climatisation et la filtration naturelle de l'air, l'isolation et l'insonorisation des bâtiments en plus de pouvoir potentiellement contribuer à la réduction des îlots de chaleur urbains. (Villanova, 2013)

Cependant, certains facteurs ne semblent pas être pris en compte dans ce portrait de haute efficacité de production aux retombées environnementales et socio-économiques alléchantes. Quels sont réellement les impacts potentiels sur la qualité nutritive des aliments d'accélérer artificiellement de la sorte leur croissance? Est-ce que les pratiques bioponiques vantant l'usage d'intrants découlant de la biomasse sont accessibles dans un contexte urbain? Autrement, quels sont les impacts associés à l'utilisation d'intrants chimiques en hydroponie? Quels peuvent être les impacts de la reproduction partielle d'un écosystème aquatique en aquaponie considérant que plusieurs symbioses complexes, mais essentielles sont mises de côté? Les aliments produits seraient-ils réellement abordables considérant les coûts élevés associés à l'achat de matériaux et systèmes si sophistiqués? La valeur foncière très élevée des terrains en villes ne serait-elle

pas aussi un obstacle à l'atteinte de cette abordabilité? La création d'une main-d'œuvre coûteuse et spécialisée n'aurait-elle pas pour effet de ne profiter qu'à une élite sociale seulement?

4.3.2. Résistance aux aléas climatiques

Une des caractéristiques des fermes verticales est le contrôle souvent quasi complet des conditions nécessaires dans lesquelles les plantes croissent. On les protège des variations climatiques potentielles rendant de ce fait la culture indépendante des cycles de la nature (Goldstein, 2018). Du même fait, l'agriculture verticale offre la possibilité de produire à tout moment de l'année, sans contraintes climatiques. Les ravages de récoltes causés par les aléas naturels tels que les sécheresses, les inondations ou encore le dérèglement des périodes de gel pourraient ainsi être totalement évités.

Cette immunité contre les variations climatiques protégerait aussi les plantations des conséquences des changements climatiques. Seules des variations pourraient être notées sur la consommation d'énergie en temps de grands froids ou de grandes chaleurs pour la régulation de la température interne du bâtiment.

Ceci mène aussi au potentiel d'adaptabilité des fermes verticales par rapport à tous types de milieux. Qu'il s'agisse de zones arides telles que les déserts, les régions nordiques ou encore de mégapoles comme de villages en régions éloignées, l'agriculture hors-sol permet une autonomie de production sans pareil lorsqu'un minimum de ressource peut être disponible. (Compère, 2012)

Néanmoins, il est important de souligner quelques lacunes quant à ces potentiels bénéfiques associés à l'atteinte d'une résilience face aux conditions climatiques et en toutes circonstances. Est-ce réellement dans toutes les régions du monde qu'il est possible de se munir de tels équipements et expertises? Est-ce également réaliste de projeter que ce sont toutes les régions du monde qui ont les infrastructures pour produire l'énergie nécessaire au fonctionnement de ces fermes? Est-ce que cette résilience promise bénéficiera aux régions qui y sont vraiment vulnérables? Dans le cas des régions arides, à quel point souhaitons-nous avoir recours à l'artificialisation pour adapter notre capacité à nous alimenter dans un climat qui ne nous est pas clément? Ne vaudrait-il pas mieux ne pas forcer le développement dans des zones mésadaptées à la vie humaine?

4.3.3. Conservation des écosystèmes

Avec leur production en circuit court, les fermes verticales de type *Farmscrapers* promettent de faire face localement à la demande croissante en produits alimentaires générée par l'augmentation et l'urbanisation de la population en n'augmentant pas les désastres de l'agriculture dominante actuelle. La perte et la dégradation des habitats sont les pressions anthropiques directes les plus dévastatrices pour les écosystèmes et la biodiversité (CDB, 2010). Dès lors, non seulement les projets de fermes verticales promettent de ne plus avoir à déforester de nouveaux milieux pour parvenir à nourrir la population, mais

Despommier avance aussi que leur déploiement massif à travers le monde contribuerait à la restauration de 60 à 70 % des forêts décimées par l'agriculture conventionnelle, soit l'équivalent de 3 milliards d'arbres. Il estime aussi que si chaque ville pouvait produire 10 % de ses besoins en alimentation via la production intérieure, l'équivalent de 881 000 kilomètres carrés [km²] de terres agricoles pourrait être libéré. Cette restauration représenterait une séquestration de carbone suffisamment importante pour renverser la cadence actuelle du réchauffement climatique (Despommier, 2019). Paul West, le scientifique et codirecteur du *Global Landscapes Initiatives* de l'Université du Minnesota avance que la moitié des émissions de GES du secteur agricole provient du défrichage des forêts d'Amérique du Sud et de l'Asie du Sud-est. (Goldstein, 2018) Plusieurs habitats et espèces pourraient alors éviter l'extinction tout en nourrissant de grandes populations qui pourront bénéficier des services écologiques rendus par ces espaces réhabilitées.

En plus de l'arrêt de l'empiétement des terres agricoles sur des milieux naturels et de la séquestration de carbone qui résulterait de la restauration des espaces actuels, il est important de calculer que les émissions de carbone relatives aux opérations des fermes verticales seraient moindres. Despommier avance en effet qu'il s'agit d'un système à faible impact où aucune machinerie lourde n'est requise et où les besoins en transport sont réduits au minimum entre chacune des étapes (Despommier, 2019).

Ensuite, les systèmes hydroponiques utilisés en culture hors-sol ne requièrent que très peu, voire pas du tout d'intrants, réduisant ainsi les pressions exercées par l'agriculture sur les ressources naturelles. « Il n'y a aucun intrant dans cette culture, aucun produit phytosanitaire, ni pesticide, ni herbicide, ni insecticide, ni fongicide, tout simplement parce qu'il n'y a pas d'intrusion de bactérie, de pollen, ou d'insecte dans l'espace de culture », précise le président de la Ferme Urbaine de Lyon (FUL) (Lagrange, 2016). Certains projets de fermes verticales peuvent même être en circuit totalement fermé, ne générant aucune déchet et ne nécessitant de cette façon aucune matière externe en ne générant aucun déchet et jusqu'à 70 % moins d'eau que l'agriculture conventionnelle (Despommier et Ellingsen, 2008). On sait que l'agriculture est la première source de pollution des ressources hydriques sur la planète (Radio-Canada 2017). Dès lors, parvenir à éliminer totalement l'épandage de pesticides et engrais chimiques tout en utilisant des quantités infimes d'eau parviendrait potentiellement à réduire de manière significative cette problématique.

Toutefois, les projections quant aux potentiels pouvoirs de conservation et restauration des écosystèmes ne semblent pas complètes. Est-il réellement plausible de parvenir à restaurer autant de forêts que le promet Despommier considérant que les fermes verticales ne peuvent produire de céréales, qui sont les plantations occupants les plus importantes superficies de cultures? Certes, aucune machinerie lourde n'est utilisée, mais qu'en est-il de l'impact carbone associé à l'approvisionnement énergétique dans les régions qui s'alimentent via les énergies fossiles? Qu'en est-il de l'empreinte associée au cycle de vie des matériaux plastiques et électroniques nécessaires pour le montage des systèmes? Les fermes n'ayant pas recours à l'aquaponie ou la bioponie requièrent l'usage d'intrants de source externe. Comment s'assurer que ceux-ci n'auront pas le même genre d'impacts, bien qu'à plus petite échelle, que ceux employés en agriculture

conventionnelle? Est-ce que l'essor de *Farmscrapers* pourrait justifier le fait de continuer de repousser les limites des périmètres urbains et donc d'aggraver l'étalement urbain qui empiète déjà sur les derniers espaces naturels qui nous sont vitaux?

4.4. Cas en exemple

La section précédente s'est concentrée sur l'étude de promesses entourant le modèle *Farmscrapers* des fermes verticales. La section 4.4 veillera toutefois à bonifier la compréhension des différentes formes possibles qu'elles peuvent prendre en étayant aussi des exemples de fermes verticales de taille basse sur toit avant de terminer avec un exemple de *Farmscrapers*.

Dans la catégorie des fermes de tailles basses, on retrouve la ferme *Sky Greens* à Singapour, construite en 2010. En étant localisée sur une petite île peuplée de plus de cinq millions de personnes, Singapour était réellement confrontée à de sérieux enjeux de sécurité alimentaire. En 2011, elle gagna déjà un prix méritas de recherche et développement. (Al-Kodmany, 2018) Elle est la toute première ferme urbaine commerciale de légumes à feuilles tropicaux. *Sky Greens* produit une tonne de légumes frais, tels que le chou chinois et les épinards à chaque deux jours. (SkyGreens, s.d) Cette ferme de verre de 3 étages est presque totalement éclairée par la lumière naturelle et contient des plateaux d'hydroponie mobiles sur 38 tours d'aluminium de 9 mètres, soit la hauteur totale du bâtiment. Ces plateaux circulent en rotation lente, leur permettant d'être exposés à la lumière du soleil de manière uniforme. (Marks, 2014) La rotation des plateaux est alimentée par un système hydraulique fort simple qui repose sur le travail naturel de la gravité. Chaque tour ne consomme ainsi que 60 watts menant alors la facture totale d'électricité de la ferme à 360 \$ par mois. *Sky Greens* a aussi une importante vocation pédagogique. À l'intérieur du bâtiment, on retrouve des couloirs aux allures de laboratoires futuristes gardés sous haute surveillance. Des visites et activités sont effectivement organisées avec les écoles et le grand public afin de les mettre en contact avec les technologies qu'abrite *Sky Greens*. (SkyGreens, s.d)

Ensuite, bien qu'il y ait maintenant plusieurs toits verts à New York le *Brooklyn Grange*, aussi amorcé en 2010, est la plus grande ferme verticale sur toit et sur terreau au monde. Une acre de culture installée sur un bâtiment de six étages datant de 1919, produit 80 000 livres d'aliments biologiques chaque année. (Brooklyn Grange Farm, s.d) Au total, 40 variétés de légumes (tomates, fenouils, laitues, choux kale, bette à cardes, betteraves, radis, carottes et fines herbes) y poussent chaque année. La majeure partie des plantations n'est pas soutenue par l'hydroponie. Les cultures croissent sur une fine couche de 19 centimètres de terre et n'emploient aucun engrais. (Al-Kodmany, 2018) Plusieurs partenariats sont aussi développés avec des organismes communautaires du quartier afin de promouvoir la santé de la communauté.

Finalement, dans la dernière catégorie de fermes verticales, soit celle des *Farmscrapers*, aucun projet n'a encore vu le jour. La principale raison pour laquelle ils sont encore sur la planche à dessin est qu'ils ne sont pas encore économiquement viables. Il existe toutefois une myriade de prototypes et propositions tout aussi créatives les unes que les autres. L'exemple du *Plantscraper* est particulièrement intéressant, car il s'agit d'un projet pionnier. La compagnie *Plantagon*, fondée en 2008 à Stockholm, opère des projets d'agriculture verticale dans plusieurs villes à travers le monde et a développé plusieurs technologies de culture qui facilite le travail de fermes émergentes (Plantagon, s.d). Son grand projet d'ambition est proposé dans le centre-ville de Linköping, au sud de Stockholm. Un bâtiment sous forme de tour multifonctionnelle de 12 étages est projeté. Une production hydroponique serait concentrée aux abords des fenêtres de la tour vitrée et des espaces de bureau et de recherches agricoles se trouveraient au centre, assurant d'importants revenus. Il est estimé que ce projet du Plantagon pourrait produire entre 300 et 500 tonnes métriques de légumes à feuilles et nourrirait 5000 personnes chaque année (Garfield, 2017). Le projet planifie aussi de collecter les eaux usées, les déchets organiques, les CO2 et les excès de chaleur des industries environnantes pour les intégrer dans une gestion symbiotique, se rapprochant le plus possible d'un circuit fermé. De cette façon, le bâtiment pourrait offrir des solutions de développement durable et d'économie circulaire en plus de produire des quantités importantes de nourriture pour la communauté. (Al-Kodmany, 2018)

5. LOWTECH : L'AGROÉCOLOGIE

Un autre mouvement émerge du monde agricole parallèlement à celui qui promeut les hautes technologies présentées dans le précédent chapitre. On parle effectivement de plus en plus d'alternatives réalisées en plein sol et ne nécessitant pas de prouesses technologiques pour répondre à nos besoins de production et aux enjeux environnementaux de l'agriculture. (Altieri, Nicholls, et Montalba, 2017)

Depuis une cinquantaine d'années, on sait que les pesticides peuvent être hautement nocifs, autant pour les consommateurs, les agriculteurs que les milieux naturels. Plusieurs acteurs du monde agricole ont peu à peu commencé à se tourner vers des options plus durables que l'agriculture industrielle. La plus répandue et la plus connue est celle de l'agriculture biologique. Toutefois, contrairement aux croyances populaires, le cahier de charge de l'agriculture biologique autorise les monocultures sur terres dénudées, la mécanisation d'un lourd travail du sol et l'usage de pesticides et engrais phytosanitaires qui à long terme, peuvent voir un grave impact sur la qualité des sols, la biodiversité et notre santé (Fondation pour la Nature et l'Homme [FNH], 2018). La qualité de l'humus, soit la couche se trouvant à la surface des sols, s'appauvrit par ces pratiques et il s'agit d'un problème de plus en plus pressant partout à travers le monde. Depuis quelques années, des chercheurs, fermiers et agronomes travaillent à développer des méthodes qui en font davantage que l'agriculture biologique pour la réhabilitation et la protection des écosystèmes, c'est-à-dire une agriculture régénératrice, aussi appelée agroécologie. (Altieri et al., 2015)

Le présent chapitre veille à présenter les origines du concept ainsi que les principales caractéristiques qui le définissent. La série de principes et pratiques que constitue l'agroécologie sera aussi exposée pour finalement discuter des principales promesses mises de l'avant par ses défenseurs. Le chapitre terminera avec un exemple concret pour arriver à imaginer la potentielle portée de la mise en application d'une telle agriculture à grande échelle.

5.1. Origines et définition du concept

Avant de définir l'agroécologie, il est incontournable d'adresser certaines notions de permaculture puisqu'elle découle directement de cette approche systémique. La permaculture se présente effectivement comme plus large. Il s'agit d'une éthique, d'une philosophie désignant la culture de la permanence en ne se limitant pas spécifiquement aux systèmes agricoles. Bill Molison et David Holmgren furent les premiers à employer le terme de la permaculture en 1978, dans leur ouvrage intitulé *Permaculture One* en la définissant comme étant un « système évolutif et intégré de plantes pérennes, vivaces ou qui se perpétuent d'elles-mêmes et d'espèces animales utiles à l'homme. » (Holmgren, 2013). L'expert en biologie de la conservation et enseignant en permaculture Jono Neiger (2017) définit l'approche dans son ouvrage *La permaculture : Plan d'action optimiste pour notre avenir* comme étant:

« la voie, pour l'être humain, qui l'amène à repenser les structures vitales : production alimentaire, énergie, construction, transports, technologie, et mêmes relations humaines et systèmes financiers. Elle le conduit aussi à reconnaître son rôle dans le façonnement des écosystèmes naturels auxquels il appartient, sachant qu'il détient la capacité de régénérer son environnement tout en subvenant à ses besoins ».

Ainsi, une bonne compréhension des liens d'interdépendance entre tous les systèmes, tant ceux existant dans la nature que ceux intégrés par l'humain, permettrait d'atteindre l'équilibre, l'efficacité et la résilience. L'agroécologie concerne alors uniquement l'espace de culture parmi l'ensemble des différents systèmes pouvant découler de la permaculture. (FNH, 2018) Avec la même approche holistique que la permaculture, elle vise à créer une circularité inspirée des mécanismes de la forêt dans l'ensemble de la chaîne alimentaire de sorte que tout élément produit par des organismes en nourrit d'autres dans l'optique de ne jamais générer de déchets.

En ce qui a trait aux origines du terme agroécologie, il fut utilisé pour la première fois par l'agronome russe Basil Bensin en 1928 pour désigner l'utilisation de méthodes écologiques appliquées à la recherche agronomique. Il évoquait déjà à l'époque la possibilité d'une coopération à l'échelle internationale pour l'élaboration de recherches scientifiques en la matière. (Wezel et al., 2009) La réelle expansion n'émergea en tant que mouvement et regroupement de pratiques agricoles qu'à partir des années 1980 en réponse aux impacts négatifs de l'agriculture moderne (Houde-Tremblay, 2019). Des agronomes et écologues se mirent alors à étudier des systèmes agricoles ancestraux de l'Amérique du Sud. Un des ouvrages les plus marquants sur le sujet fut celui de professeur Miguel A. Altieri, publié en 1986: *Agroécologie, les bases scientifiques d'une agriculture alternative*. Il définit dans cet ouvrage l'agroécologie comme étant : « la science de la gestion des ressources naturelles au bénéfice des plus démunis confrontés à un environnement défavorable ». La définition s'étend toutefois au-delà de ce spectre dans les années 1990. On parle désormais d'une échelle écosystémique de l'agriculture pour englober toutes les composantes d'une écologie alimentaire, qu'elles soient de nature écologique, économique ou sociale en passant par la production, la distribution et la consommation de la nourriture, se rapprochant dès lors des postulats de la permaculture qui est, quant à elle, encore plus large. (Wezel et al., 2009) La FAO, qui intègre l'agroécologie dans sa vision commune pour une alimentation et une agriculture durable, définit ce modèle comme étant:

« une approche intégrée qui applique concomitamment des notions et des principes écologiques et sociaux à la conception et à la gestion des systèmes alimentaires et agricoles. Elle vise à optimiser les interactions entre les végétaux, les animaux, les humains et l'environnement, sans oublier les aspects sociaux dont il convient de tenir compte pour qu'un système alimentaire soit durable et équitable. » (FAO, 2018a)

Il est également avancé par la FNH (2018) que l'agroécologie est « préservatrice de l'environnement, productive et autonome » en cherchant la complémentarité entre les espèces en intégrant l'ensemble des paramètres de gestion écologique et sociale de l'espace cultivé. On adapte les procédés et fonctionnalités

agroécosystémiques selon les spécificités des conditions géomorphologiques, climatiques, écologiques et sociales. Parmi ces dernières, on regroupe notamment :

« les cycles de transformations des nutriments (azote, phosphore et carbone) qui opèrent entre les différentes sphères du milieu (atmosphère, lithosphère, hydrosphère et biosphère), la succession végétale propre au milieu, les relations trophiques existant entre les espèces animales, les impacts de la biodiversité intrinsèque au milieu sur sa productivité, etc. » (B. Jolin, 2015).

Il s'agit dès lors d'un processus requérant à la fois innovation et créativité ainsi qu'une reconnexion avec les savoir-faire ancestraux et autochtones (*Institute for Agriculture & Trade Policy* [IATP] 2015). Comme l'agriculture est une activité humaine, les acteurs humains qui y sont liés sont indissociables des dimensions écologiques. L'agroécosystème offre des services socioécosystémiques allant bien au-delà de la simple production de nourriture (Lescourret et al. 2015). L'homme devient l'organisateur de l'espace cultivé, et non plus seulement le prédateur.

Plus concrètement, la FAO propose une synthèse en 10 éléments pour définir l'ensemble des concepts régissant l'agroécologie. Ces éléments découlent des séminaires régionaux de la FAO sur l'agroécologie et visent à globaliser une agriculture durable et à atteindre l'objectif « Faim zéro » des Nations Unis. (FAO, 2018b) La figure 5.1 illustre les liens d'interdépendances qui unissent chacun de ces éléments de manière systémique.

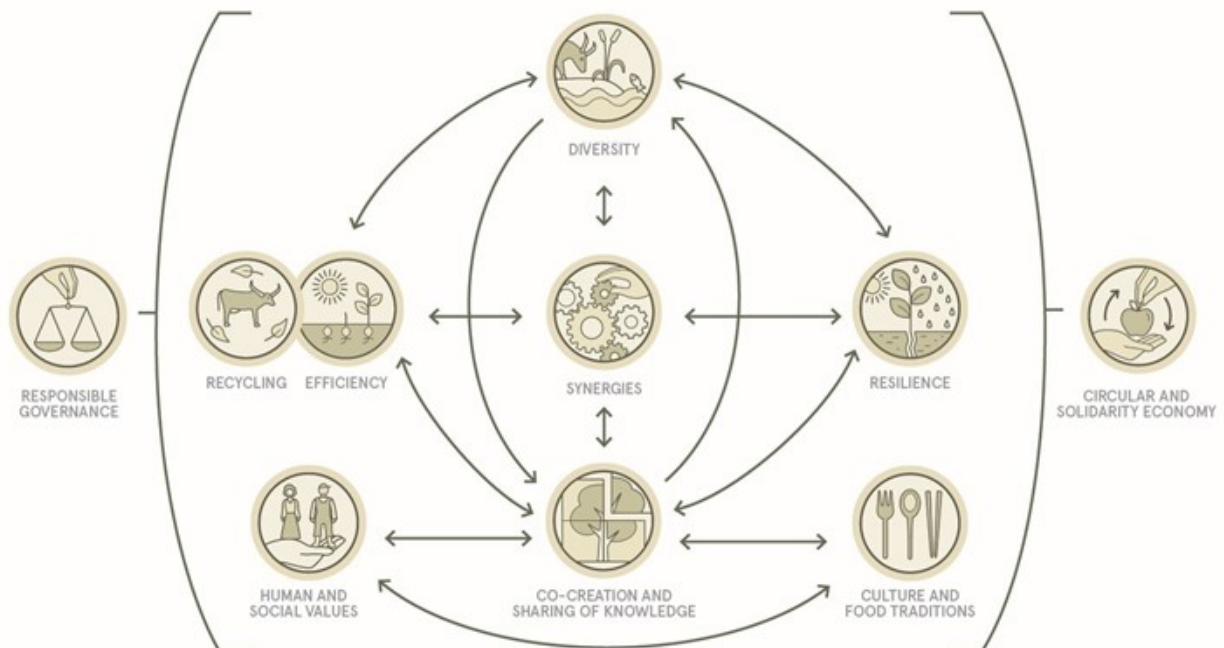


Figure 5.1 Les 10 éléments de l'agroécologie (FAO, 2020)

La conversion de l'agriculture conventionnelle à un tel agrosystème requiert des changements sociaux et politiques majeurs, qui eux, transcendent la portée de cet essai. Il est toutefois incontournable de mettre en lumière le travail acharné que des groupes d'actions et de mobilisation à petite et grande échelle réalisent pour accélérer un changement de paradigme agricole. Un des groupes les plus notables internationalement est la Via Campesina. Ce regroupement d'acteurs agricoles porte depuis une trentaine d'années de nombreuses revendications auprès d'organisations internationales pour faire avancer les questions axées autour du droit à la terre, du droit aux semences, du droit à la biodiversité et du droit des femmes et des paysans. Leur dur travail a porté fruit puisqu'en 2018, l'ONU adopta la *Déclaration des Nations Unies sur les droits et paysans et des autres personnes travaillant dans les zones rurales*, proclamant tous les droits revendiqués par la Via Campesina. (FAO et al., 2018)

5.2. Principes et promesses avancées

La série de principes et pratiques de l'agroécologie vise globalement à capturer le carbone atmosphérique et améliorer la biodiversité des sols grâce aux synergies des composantes biologiques encadrées par l'humain pour maximiser la production d'aliments en respectant les limites des écosystèmes (IATP, 2015). Elle requiert une expertise et un niveau de connaissance très pointue des dynamiques écologiques locales et repose sur des techniques développées sur l'expérience de petits producteurs sur de grandes échelles de temps. (Altieri et Toledo 2011)

Pour ce faire, le design de systèmes agroécologiques se façonne grâce à « l'établissement d'infrastructures écologiques qui encouragent les interactions biologiques à travers la restauration de la biodiversité agricole » (traduction libre de : M. Altieri, Nicholls, et Montalba, 2017) Des infrastructures d'une telle complexité doivent reposer nécessairement sur des principes fondamentaux précis.

Bien que les 10 éléments de la FAO présentés dans la section précédente soient incontournables pour saisir les piliers structurants de l'agroécologie, la section 5.2 intégrera des principes plus exhaustifs et précis proposés par d'autres auteurs. Neuf chercheurs issus du Groupe Interdisciplinaire de Recherche en Agroécologie du Fond de recherche belge [GIRAF] ont établi en 2012 une liste de 13 principes régissant les pratiques qui indiquent comment construire un système agroécologique sur une échelle spatio-temporelle. Ces 13 principes proposés par Stassart et al. (2012), les auteurs de l'ouvrage en question intitulé *L'agroécologie : Trajectoire et potentiel pour une transition vers des systèmes durables*, sont tous répartis en trois catégories.

Les prochaines sous-sections présenteront en trois tableaux, les trois catégories suggérées dans ce dernier ouvrage. Ensuite, les principales promesses écosystémiques et socio-économiques potentielles avancées par le IATP (2015) seront aussi exposées dans ces tableaux afin de synthétiser les promesses d'un développement à grande échelle du modèle agroécologique.

Un avant-propos des questions qui émaneront de l'analyse factuelle de l'agroécologie sera présenté à la fin de chaque sous-section. Toutefois, les limites observées seront davantage traitées dans le chapitre d'analyse (chapitre 6) alors que d'autres seront mises de côté considérant les portées visées de cet essai.

5.2.1. Principes historiques

Présentés dans le tableau 5.1, les six principes de cette catégorie concernent tout ce qui a trait à l'observation des phénomènes et des mécanismes naturels des milieux d'implantation. Les principes historiques constituent en effet le socle de tout projet agroécologique.

Tableau 5.1 Les principes historiques de l'agroécologie

Inspiré de (Stassart et al. 2012; IATP 2015)

Principes historiques de l'agroécologie		Objectifs	Promesses	
			Écosystémiques	Socio-économiques
1.	Réutilisation de la biomasse	Optimiser la disponibilité et l'équilibre naturel des nutriments dans le sol par l'usage de biomasse présente sur place.	Restauration et conservation des cycles et synergies biogéochimiques naturels permettant de réduire l'empreinte carbone, d'augmenter la résilience et résistance des plantations, d'aider à la mitigation et adaptation aux changements climatiques.	Augmentation de l'autonomie, renforcement de l'économie locale, augmentation du ratio rendements vs efforts, réduction des coûts de production et des risques pour la santé humaine,
2.	Intégrité du sol	Cesser l'usage d'intrants de synthèse afin d'encourager l'activité biotique du sol.	Réduction des pressions sur les ressources non renouvelables, augmentation de la qualité de l'humus à long terme, augmentation de la résilience des cultures aux inondations et aux sécheresses.	Augmentation des rendements par hectare et amélioration de la sécurité alimentaire, construction d'agroécosystème pérenne, réduction des coûts de production et des risques pour la santé humaine.
3.	Gestions microclimatiques	Minimiser les pertes de ressources par le biais d'une gestion adaptée et adaptative.	Augmentation de la disponibilité des ressources en eau pour les écosystèmes, augmentation de la capacité de rétention d'eau des sols, restauration et conservation des cycles et synergies biogéochimiques naturels.	Réduction des coûts d'approvisionnements externes, augmentation de la disponibilité des ressources en eau pour les communautés.
4.	Diversité génétique	Favoriser la diversification génétique des espèces cultivées.	Augmentation de la biodiversité et de ses services écologiques, augmentation de la résilience des cultures, augmentation de la captation de carbone.	Réduction des pertes associées aux récoltes lors d'événements perturbateurs, augmentation des revenus, meilleure accessibilité à une alimentation saine et variée.
5.	Synergies biologiques	Permettre les associations biologiques bénéfiques entre les espèces de l'agroécosystème.	Augmentation de la biodiversité et de ses services écologiques, augmentation de la résilience des cultures, augmentation de la captation de carbone.	Augmentation de la productivité et de la résilience des cultures.
6.	Agrobiodiversité	Valoriser la biodiversité pour l'ensemble des composantes de l'agroécosystème.	Augmentation de la biodiversité et de ses services écologiques, augmentation de la résilience des cultures, augmentation de la captation de carbone.	Réduction des pertes associées aux récoltes lors d'événements perturbateurs, augmentation de la résilience des cultures, augmentation des revenus, meilleure accessibilité à une alimentation saine et variée.

La compréhension préalable de ces particularités écosystémiques dresse un portrait qui guidera ensuite le choix des pratiques à adopter propres aux caractéristiques spécifiques du terrain. Concrètement, les principes historiques servent à :

« Sélectionner les espèces les plus appropriées aux biofonctions multiples (contrôle des ravageurs et des herbes indésirables, contribution à la fertilité des sols); Déterminer les bénéfices spatio-temporels les plus bénéfiques; Considérer l'échelle spatiale à laquelle l'amélioration de l'habitat (terrain ou de paysage) ; Comprendre les rapports et comportements des prédateurs et parasites ainsi que leurs relations avec l'habitat; Anticiper les conflits potentiels que pourrait générer l'ajout de nouvelles espèces et sélectionner des végétaux qui auront des fonctions multiples » (Traduction libre de : Altieri, Nicholls, et Montalba 2017).

En revanche, quelques questionnements peuvent être soulevés quant à l'accessibilité et la faisabilité réelle de ces pratiques. Notamment, les intrants conventionnels peuvent certes être substitués, mais qu'en est-il de l'accessibilité réelle de ceux impliquant les formations, conseils et équipements permettant de connaître aussi finement les processus écosystémiques? Combien de temps de travail supplémentaire cela représente par rapport aux méthodes conventionnelles pour enchâsser cette transition réalistement? Est-ce que les nombreuses interactions en jeu rendent complexe et en partie inaccessible sa mise en pratique? Pourra-t-on réellement assurer des quantités adéquates de nourriture pour toutes les populations avec des mécanismes qui requièrent de grandes périodes de temps avant d'opérer?

5.2.2. Principes méthodologiques

La catégorie des principes méthodologiques inclut les quatre grands préceptes qui doivent transparaître au travers de chaque choix de pratique. Le tableau 5.2 de la page 41 et 42 présente les principes méthodologiques de l'agroécologie.

Tableau 5.2 Les principes méthodologiques de l'agroécologie

Inspiré de (Stassart et al. 2012; IATP 2015)

Principes méthodologiques de l'agroécologie		Objectifs	Promesses	
			Écosystémiques	Socio-économiques
7.	Résilience et adaptabilité	Favoriser un pilotage multicritère sur une perspective de long terme afin d'optimiser la résilience et la capacité d'adaptation des agroécosystèmes.	Augmentation de la résilience et de l'adaptabilité de l'agroécosystème lors d'événements perturbateurs,	Augmentation à long terme de la productivité et de la résilience des cultures et donc des revenus associés
8.	Variabilité spatio-temporelle des ressources	Valoriser la diversité et la complémentarité des ressources et caractéristiques locales dans le temps et dans l'espace.	Restauration et conservation des cycles et synergies biogéochimiques naturels permettant de réduire l'empreinte carbone, d'augmenter la résilience et la résistance des plantations, d'aider à la mitigation et à l'adaptation aux changements climatiques.	Réduction des coûts d'approvisionnements externes,

Tableau 5.2 Les principes méthodologiques de l'agroécologie (suite)

Inspiré de (Stassart et al. 2012; IATP 2015)

Principes méthodologiques de l'agroécologie		Objectifs	Promesses	
			Écosystémiques	Socio-économiques
9.	Exploration	Encourager l'exploration d'autres méthodes de production dans d'autres agroécosystèmes ainsi que le développement de nouvelles techniques soutenant la synergie d'espèces variées et la réduction de l'usage d'intrants.	Restauration et conservation des cycles et synergies biogéochimiques naturels permettant de réduire l'empreinte carbone, d'augmenter la résilience et la résistance des plantations, d'aider à la mitigation et à l'adaptation aux changements climatiques.	Réduction des coûts d'approvisionnements externes,
10.	Recherche participative	Stimuler la collaboration d'une grande diversité d'acteurs dans la recherche et développement des démarches tout en assurant leur caractère scientifique.	Meilleure diffusion de l'information et éducation des populations sur les interrelations indispensables entre humains et écosystèmes afin d'en améliorer l'intégrité.	Meilleure compréhension des mécanismes naturels de l'agrosystème donc augmentation à long terme de la productivité.

Ces principes méthodologiques guident les acteurs dans ce qui devrait sous-tendre tout choix de méthodes et pratiques agrosystémiques. Le tableau 5.3 ci-dessous regroupe les principaux exemples d'options de pratiques spatio-temporelles concrètes qui peuvent découler de ces principes privilégiés par Altieri, Nicholls, et Montalba (2017).

Tableau 5.3 Conceptions spatio-temporelles de systèmes agricoles diversifiés et de leurs principaux effets agroécologiques

(traduction libre tiré de : Altieri, Nicholls, et Montalba, 2017)

Pratiques agrosystémiques	Effets agroécologiques
Rotations des cultures:	Diversité temporelle sous forme de séquences céréales-légumineuses. Les nutriments sont conservés et fournis d'une saison à l'autre, et les cycles de vie des insectes ravageurs, des maladies et des mauvaises herbes sont interrompus.
Polycultures:	Systèmes de culture dans lesquels deux ou plusieurs espèces de cultures sont plantées avec une certaine proximité spatiale. Elles entraînent des complémentarités biologiques qui améliorent l'efficacité de l'utilisation des nutriments et la régulation des ravageurs, améliorant dès lors la stabilité et le rendement des cultures.
Systèmes agroforestiers:	Des arbres qui croissent avec des cultures annuelles en plus de modifier le microclimat, maintiennent et améliorent la fertilité du sol car certains arbres contribuent à la fixation de l'azote et à l'absorption des nutriments des couches profondes du sol tandis que leur litière aide à reconstituer les nutriments du sol, à maintenir la matière organique et à soutenir les réseaux trophiques complexes du sol.
Cultures de couverture et paillage:	L'utilisation de résidus organiques tels que le gazon ou le paillage, sous les arbres fruitiers, peut réduire l'érosion et fournir des nutriments au sol et améliorer le contrôle biologique des ravageurs. [...] C'est une stratégie pour réduire l'érosion du sol et réduire les fluctuations de l'humidité du sol et de la température, améliorer la qualité du sol et assurer la gestion des mauvaises herbes améliorant ainsi les performances des cultures.
Mélanges cultures-bétail:	Une production élevée de biomasse et un recyclage optimal des nutriments peuvent être obtenus grâce à l'intégration des cultures. Production animale intégrant des arbustes fourragers plantés à haute densité, intercalés avec des pâturages et des arbres à bois améliorés et hautement productifs, tous combinés dans un système qui peut être l'élevage de bétail améliorent la productivité totale sans avoir besoin d'intrants externes.

Maintenant, notons que quelques aspects ne sont pas couverts par ces bénéfices escomptés en ce qui a trait aux méthodes. Est-ce que ces principes spatio-temporels sont réalisables dans toutes les zones

climatiques habitées? Est-ce que les innovations scientifiques et technologiques nécessaires peuvent entraver le déploiement à grande échelle de pratiques anciennes et paysannes?

5.2.3. Principes socio-économiques

Tel que mentionné dans la section 4.1 du présent ouvrage, l'agriculture est une pratique fondamentalement humaine. Dès lors, les dimensions socio-économiques sont aussi au cœur du caractère systémique des pratiques agroécologiques. Finalement, les prochains principes intègrent la dimension socio-économique dans la construction de systèmes alimentaires agroécologiques. Le tableau 5.4 expose les objectifs et promesses de l'intégration de cette sphère.

Tableau 5.3 Les principes socio-économiques de l'agroécologie

Traduction libre tiré de : (Altieri, Nicholls, et Montalba, 2017)

Principes de l'agroécologie		Objectifs	Promesses	
			Écosystémiques	Socio-économiques
11.	Développement des capacités collectives d'adaptation	Création de réseaux multidisciplinaires résilients favorisant une implication variée et le partage de connaissances.	Meilleure diffusion de l'information et éducation des populations sur les interrelations indispensables entre humains et écosystèmes afin d'en améliorer l'intégrité	Meilleure compréhension des mécanismes naturels des milieux de culture, augmentation à long terme de la productivité et de leur niveau de vie.
12.	Autonomie paysanne	Renforcer la gouvernance démocratique et locale des systèmes alimentaires grâce à une cogestion entre les différentes parties prenantes	Intégration de systèmes agricoles diversifiés à échelle humaine plus durables que les monocultures de l'agriculture industrielle	Réappropriation de savoirs-faires permettant la prise en charge de la souveraineté alimentaire par les collectivités locales et défense de la justice sociale à travers l'équité entre les femmes et les hommes et entre les populations.
13.	Diversité des savoirs	Valoriser la pluralité des savoirs et des pratiques en matière d'agriculture	Meilleure diffusion de l'information et éducation des populations sur les interrelations indispensables entre humains et écosystèmes afin d'en améliorer l'intégrité	Meilleure compréhension des mécanismes naturels des milieux de culture, augmentation à long terme de la productivité et de leur niveau de vie.

Ce tableau met en lumière l'application des principes socio-économiques sous l'angle de l'atteinte de la justice sociale et du déploiement éducatif et pédagogique de la réhabilitation des savoirs-faires traditionnels tout en s'imprégnant du meilleur du développement des *lowtech*. L'idée centrale qui y est défendue repose essentiellement sur le principe d'autosuffisance alimentaire afin d'imbriquer les sphères socio-économiques et écosystémiques de manière indissociable.

Cependant, il est important de se questionner sur tous les facteurs influençant le contexte sociopolitique et économique propice au déploiement d'un tel réseau d'entraide et de savoir. Est-ce que de tels changements de techniques et d'équipement peuvent être réalistement praticables dans un contexte de précarité financière ou d'instabilité politique? Quels peuvent être les incitatifs économiques? La nécessité d'apprentissage parfois long et complexe des savoirs traditionnels peut-elle être un obstacle au déploiement à grande échelle? Est-ce que le temps que nécessiterait une transition d'une telle envergure et d'une telle

complexité correspondrait avec la fenêtre de temps que l'humanité possède pour renverser les enjeux climatiques et de biodiversité? Est-ce contradictoire d'imaginer un déploiement à grande échelle d'un système qui ne repose pas sur des solutions universelles? Comment arriver à faire face aux forces économiques dominantes dictées par une vision linéaire de court terme de la rentabilité? Est-ce que ces mêmes forces n'impliqueront pas un usage partiel et superficiel des concepts d'agroécologie, donc presque aussi dommageable que l'agriculture conventionnelle? Est-ce que la demande saura s'ajuster à une production diversifiée, hétérogène et imparfaite? Comment assurer l'acceptabilité des acteurs hors agriculture essentielle à supporter de cette transition agroécologique? Y a-t-il suffisamment de jeunes agriculteurs pour l'endosser? Est-ce que l'acquisition de nouvelles terres à rétablir et à cultiver est réellement possible pour de nouveaux agriculteurs? Y aurait-il des conséquences culturelles relativement au fait de requérir massivement aux savoirs ancestraux et pratiques paysannes locales? De quelles façons seraient reconnus et valorisés les détenteurs du savoir?

5.3. Cas en exemple

Le chapitre 5 a démontré en quoi l'agroécologie est un modèle complexe par le caractère systémique qu'il exige. Il peut alors prendre autant de formes distinctes qu'il y a et aura de projets différents. Or, il est pratiquement impossible d'arriver à connaître le nombre exact de communautés pratiquant ce type de production agricole. Toutefois, certains projets servent de cadre référant dans bon nombre d'ouvrages scientifiques. C'est le cas du système riz-canards-poissons en Chine qui sera développé au point 5.3.1. Il s'agit d'un design agroécologique exposant une quantité très diversifiée de synergies biogéochimiques dans la production d'un des aliments de base les plus consommés au monde. Il démonte ainsi plusieurs exemples à différentes échelles auxquels se rattacher et pouvant inspirer d'autres milieux et contextes.

Ensuite, le point 5.3.2 exposera brièvement la place de l'agroécologie au Québec. Bien qu'il puisse être hautement stimulant et pertinent de dédier un prochain ouvrage entier à cette question, il sera question ici d'éveiller la réflexion quant à l'applicabilité des concepts évoqués dans cet ouvrage au contexte québécois. De prochains travaux à cet effet pourraient se référer à l'essai de B. Jolin (2015) pour compléter ou poursuivre les réflexions. Quelques exemples de cas concrets seront aussi amenés afin de mettre en valeur les initiatives bien de chez nous de fermiers engagés et inspirants.

5.3.1. Système riz-canards-poissons

Ce modèle traditionnel chinois repose d'abord sur l'observation millénaire de la nature, ayant guidé les fermiers à intuitivement intégrer des méthodes de biomimétisme profond. Pratiqué depuis au moins 1700 ans, les fermes de riz-canards-poissons chinoises recouvrent maintenant 1,5 million d'hectares dans le pays. Les techniques sont alors aussi matures que diversifiées. Elles sont basées sur une symbiose profitant à toutes les espèces. (Lu et Li, 2006) Les espèces que l'on retrouve dans ces rizières sont :

« les poissons, les canards, les herbes, les planctons, les bactéries photosynthétiques, les insectes aquatiques, le benthos, les divers ravageurs du riz, les souris aquatiques, les serpents d'eau, les oiseaux et autres microbes du sol et de l'eau » (traduction libre de :Altieri, Nicholls, et Montalba 2017).

Dix espèces indigènes de riz et 62 espèces forestières comestibles et médicinales sont plantées en culture de terrasses cultivées. Le modèle agit à titre de milieu de conservation pour des variétés de riz ancestrales et pour des espèces animales et végétales indigènes.

La variété d'interactions entre les espèces cultivées et celles faisant partie de la biodiversité du milieu valse dans une parfaite symbiose mouvante de bénéfices mutuels. Des centaines de relations symbiotiques existent effectivement dans ce système. Parmi celles-ci, la principale est que le riz fournit un abri et de la nourriture aux poissons et aux canards alors que ces derniers créent ensuite un milieu optimal de croissance pour le riz. Les plantations de riz créent de l'ombre et contrôlent la température de l'eau, diminuent également les concentrations d'ammoniac dans l'eau et l'azote dans le sol. (Xie et al., 2011)

De l'autre côté, les poissons, principalement des *tilapia nilotica* et *cyprina caripo*, et les canards mangent les insectes ravageurs comme les cicadelles et les escargots. Les herbes qui obstruent la croissance des plantations de riz sont aussi contrôlées par les poissons et les canards qui en raffolent. Aussi, les poissons contribuent à la photosynthèse du riz en relâchant du CO₂ dans l'eau, et en l'oxygénant tout en faisant circuler les dépôts de nutriment au fond de l'eau par leurs mouvements qui stimulent ensuite la pousse du riz. En plus de faire le même travail que les poissons, les canards mangent l'*Azolla* avant que cette dernière menace le plan d'eau de l'eutrophisation par son envahissement. L'*Azolla*, une plante aquatique, fixe l'azote pour le riz. Les émissions de méthane sont ainsi réduites de 30% comparativement aux méthodes intensives par la mise en circulation naturelle de cette biomasse qui, autrement, serait simplement en décomposition. (Altieri, Nicholls, et Montalba 2017; Lu et Li, 2006)

Bien que les données varient d'un pays à l'autre, il est estimé que les retours sur investissement peuvent être entre 45 et 270 % plus élevés que dans les rizières de monocultures. Les fermiers sont également gagnants dans ce système. La quantité de travail associé au contrôle des ravageurs et à la fertilisation diminue et il est estimé que leurs revenus peuvent augmenter de plus de 23 % par rapport aux monocultures rizières. Des gains en termes de santé sont aussi observés, car l'accessibilité à une alimentation variée y est assurée. Les paysages créés par ces agroécosystèmes attirent également chaque année bon nombre de touristes, profitant à l'économie de la communauté (Halwart et Modadugu, 2004). La commission de santé publique de Chine a même reconnu en 1981 le potentiel de ces rizières à réduire la propagation de maladies telles que la malaria et la dengue grâce aux poissons et aux canards qui mangent les larves qui prolifèrent normalement dans les rizières conventionnelles. L'abstention quasi totale d'usage de pesticides a aussi été considérée comme une réduction des risques de cancers dans les régions de cultures de riz. (Lu et Li, 2006)

5.3.2. Et au Québec?

Au Québec, comme dans la plupart des territoires de pays industrialisés, c'est l'agriculture conventionnelle en monoculture qui domine l'espace agricole. Les cultures se concentrent principalement autour de la production de maïs, de soya et l'élevage de vaches laitières et de porcs (Ministère de l'Agriculture, Pêcheries et Alimentation du Québec [MAPAQ], 2019). L'agriculture biologique connaît toutefois un essor considérable depuis le début des années 2000. Bien qu'il s'agisse d'une faible proportion de la production totale de la province, on dénombre tout de même aujourd'hui plus de 3000 fermes sur l'ensemble du territoire qui se concentrent dans la production de sirop d'érable, de céréales, d'oléagineux ainsi que de bétail (Portail Bio Québec, 2020).

Le terme agroécologie à proprement dit n'est qu'encore très peu employé, bien que plusieurs fermes s'inscrivent assurément dans ce mouvement. C'est notamment par le phénomène de coopérativisme, qui prit son envol dès 1908 grâce à l'adoption de la *Loi sur les coopératives agricoles*, que le monde agricole québécois s'est façonné. Que ce soit notamment par la Coopérative pour l'agriculture de proximité écologique ou le réseau des fermiers de famille d'Équiterre, ces structures facilitent l'intégration de réseaux et de circuits courts, ce qui accommode la production agroécologique. Toutefois, l'agriculture conventionnelle implique une gestion centralisée qui orchestre un grand et puissant monopole, rendant difficile une prise de pouvoir par les paysans et agriculteurs. (B. Jolin, 2015)

Néanmoins, les pratiques inspirées du mode de culture agroécologique se décuplent et l'intérêt du public est grandissant. Des projets inspirants sont même objet de convoitise sur la scène internationale. C'est le cas notamment de la Ferme des Quatre Temps, géré par l'auteur des livres *Le jardinier maraîcher* (2017) et *L'avenir est dans le champ* (2019), Jean-Martin Fortier. Localisée en Montérégie, la ferme mise sur une culture bio-intensive diversifiée sur une superficie d'un hectare. Elle applique les rotations de cultures, préserve des niches écologiques à même l'espace de production en plus de promouvoir les systèmes alimentaires régionaux et de former de nouveaux fermiers chaque année. Les entrepreneurs derrière le projet souhaitent voir rapidement émerger un nouvel ordre agricole au Québec où les fermes de ce type se multiplient partout sur le territoire. Plusieurs opportunités de visibilité grand public se sont offertes à eux et ils ont su en tirer avantage pour inciter une discussion de société plus large et profonde sur l'importance de nos choix en matière agricole à la vue des incohérences actuelles.

Bien qu'il s'agisse certainement de la ferme ayant actuellement la plus grande tribune, n'en demeure pas moins que plusieurs autres fermiers portent tout autant, à leur manière, le grand projet de transition socioécologique des systèmes alimentaires. On retrouve effectivement des fermes de plus petite échelle telles que les Jardins de la Chevrotière, le Jardin des Funambules, la Petite Terre Maraîchère, les Jardins cent Pépins, les Potagers partagés, les Jardins du pied de céleri, les Jardins de Céline, les produits Belvy, les Serres du Phénix, la ferme le Champ libre et de nombreuses autres entreprises.

6. ANALYSE CRITIQUE DES MODÈLES PRÉSENTÉS

Maintenant que nous avons intégré les limites de l'agriculture industrielle puis des défis alimentaires qui s'y rattachent et que nous avons décortiqué deux solutions possibles, il est temps de répondre à la question structurante de cet essai. Il est temps effectivement d'évaluer si les fermes verticales ou l'agroécologie, découlant de deux paradigmes technologiques distincts (*hightech* et *lowtech*), peuvent parvenir à répondre aux défis alimentaires ciblés par la FAO (volet 1) dans une perspective systémique de développement durable (volet 2).

La section 6.1 de l'analyse concernera le volet 1 de la question, qui lui fait référence aux défis alimentaires ne correspond qu'aux symptômes visibles de la problématique. En effet, il est question de mettre en relation les informations factuelles associées aux limites de l'agriculture industrielle (chapitre 1) et les défis alimentaires qui s'y rattachent (chapitre 2) avec celles concernant les deux alternatives étudiées (chapitres 4 et 5). Se limiter à ce seul regard pour déterminer la validité des deux options pourrait faire en sorte qu'on y propose des solutions de surface uniquement.

C'est ce qui rend pertinent le deuxième volet de l'analyse, présent à la section 6.2. Ce dernier a effectivement pour objectif de faire confronter les significations qui ressortent du volet 1 aux approches de développement durable et à la pensée systémique. De cette façon, il sera finalement possible d'établir de manière éclairée, quoique réfutable, la pertinence des deux options sélectionnées en abordant les couches profondes des causes de la problématique, qui rappelons-le, est celle de la sécurité alimentaire. Une synthèse des points soulevés aux sections 6.1 et 6.2 sera offerte à la section 6.3. Les recommandations résultant de cette analyse critique se trouveront ensuite dans le prochain chapitre.

6.1. Contributions aux défis alimentaires

À la lecture des deux derniers chapitres, il a été possible de remarquer que plusieurs promesses avancées par les défenseurs des fermes verticales et de l'agroécologie s'apparentent. On y vante effectivement dans les deux cas un meilleur usage des ressources générant l'amélioration de l'efficacité agricole, l'augmentation de la résilience et l'adaptabilité aux aléas climatiques ainsi que la restauration et la conservation des écosystèmes. Or, les réelles portées varient considérablement entre les deux alternatives. Tel qu'expliqué dans la méthodologie, l'analyse des réponses promises attribuées à chacun des défis alimentaires et pour chacune des deux options sera présentée sous forme de tableau incluant l'analyse critique et le jugement synthèse du niveau de réponse. Ce dernier sera catégorisé comme étant potentiellement total, partiel, nul ou aggravant. Il servira à départager les nuances quant aux véritables potentiels d'implication de chacune des options selon le regard critique de l'auteure. À titre de rappel, voici les défis qui seront mis en relations dans cette portion de l'analyse : faire face à la demande alimentaire croissante ; éradiquer la faim et l'insécurité alimentaire ; améliorer la durabilité de l'usage des ressources ; adaptation aux changements climatiques et mitigations des changements climatiques.

Autant pour les fermes verticales que pour l'agroécologie, les réponses promises seront évaluées de manière extrapolée, c'est-à-dire, comme si les options étaient toutes deux déployées massivement à grande échelle, sans nuance de complémentarité et de potentielles améliorations évolutives dans le temps pour en faire ressortir plus facilement les spécificités particulières aux stades de développements où elles sont rendues. Il va de soi que dans un cas comme dans l'autre, les procédés peuvent se perfectionner avec le temps et en venir à offrir de meilleurs résultats que ceux critiqués dans le présent essai.

6.1.1. Hightech : Fermes verticales

Le tableau 6.1 des pages suivantes expose ainsi le travail d'analyse critique du premier volet de la question de recherche pour les fermes verticales. Comme ce fut aussi le cas à la section 4.3, c'est le modèle de Despommier, soit les *Farmscrapers* qui fera l'objet de l'analyse. Il représente celui incluant le plus de fonctionnalités propres aux fermes verticales (cultures et méthodes d'irrigation hors-sol) en plus de comprendre les visées les plus ambitieuses pour cette alternative *hightech*.

Rappelons que ce modèle n'est toutefois pas le seul. Il existe aussi deux autres types de fermes verticales. Les fermes de tailles basses et les fermes sur toits n'ont effectivement qu'été brièvement survolées aux sections 4.2 et 4.4. Il faut alors considérer que ces dernières pourraient avoir le potentiel de répondre différemment à la question.

Avant d'amorcer la lecture de la présente section, il est important de préciser aussi que la littérature actuelle ne dispose pas d'une grande diversité de points de vue critique à l'endroit des *Farmscrapers*. La majorité des documents à consulter sont produits par des promoteurs ou des couvertures médiatiques, n'exposant alors principalement que les grandes promesses utopiques en ne relevant pas, ou très en surface, les limites potentielles. Ainsi, les éléments critiques soulevés par l'auteure seront peu référencés puisqu'ils reposent en majeure partie sur son raisonnement et son jugement.

Tableau 6.1 Analyse critique des réponses promises des fermes verticales face aux défis alimentaires ciblés par la FAO

Défis alimentaires ciblés par la FAO	Analyse critique des réponses promises	Jugement synthèse du niveau de réponse
Faire face à la demande alimentaire croissante	<p>❖ D'ici 2100, la population mondiale aura passé de 7,8 milliards à 11,2 milliards, soit une augmentation de plus de 30 % en moins d'un siècle. L'urbanisation caractérise fortement la répartition de cette croissance globale. Les 2/3 de la population se trouveront effectivement en milieux urbains d'ici 2030 déjà. Les défenseurs des fermes verticales avancent que ces dernières pourraient assurer une efficacité agricole permettant de faire face à ces prévisions qui augmenteront subséquemment les pressions sur la demande alimentaire principalement dans les villes. Dans cette optique, les fermes verticales semblent alors être un élément de réponse intéressant pour faire face à ce défi puisqu'actuellement, les grandes villes n'abritent à peu près pas de surfaces de cultures. Toutefois, 80 % de cet accroissement urbain sera concentré en Afrique, en Asie et en Amérique sud, des régions majoritairement affectées par plusieurs indicateurs de pauvreté. Or, les fermes verticales requièrent actuellement des investissements de lancement colossaux et des procédés et matériaux sophistiqués. Les populations de ces régions auraient alors potentiellement une moins grande latitude quant à l'accessibilité aux ressources techniques et aux moyens financiers nécessaires au déploiement de ces technologies pour de faire réellement face à la demande alimentaire croissante.</p> <p>De plus, si nous prenons l'exemple de l'Afrique, le tiers de la population sera âgée de moins de 25 ans et ne sera donc pas en âge d'acquérir les hautes qualifications nécessaires pour œuvrer ou démarrer des fermes verticales qui permettraient de supporter l'accroissement massif de la demande. Ceci peut laisser supposer que pour assurer un niveau de main-d'œuvre suffisant pour déployer assez de fermes verticales, il faudra compter sur l'expertise externe et donc réduire l'autonomie locale. Les projets d'agriculture artificialisés s'éloignent grandement des méthodes de culture paysannes, qui sont majoritaires dans ces régions.</p> <p>Aussi, les pays les plus enclins à pouvoir se prévaloir massivement de fermes verticales, soient les pays riches, connaissons quant à eux un vieillissement et un ralentissement de la croissance démographique. Ainsi, en mettant en parallèle le fait que les fermes verticales auraient le pouvoir de répondre à la demande alimentaire d'une population urbaine croissante, mais qu'en réalité elles ne seraient accessibles que pour les pays riches et que ces derniers ne connaîtront pas de grandes augmentations, il est judicieux de se poser la réflexion suivante : les fermes verticales seraient implantées où, par qui et pour qui réellement?</p> <p>❖ Afin de renchérir sur la question de l'accessibilité financière des projets d'agriculture verticale, il est intéressant de mettre en perspective le fait que les revenus globaux mondiaux et la classe moyenne tendent à augmenter. Il a été vu à la section 3.1 que l'augmentation globalisée des revenus amène la demande à exiger davantage de diversité de produits alimentaires. Cependant, il a aussi été relaté que les fermes verticales peuvent offrir une diversité intéressante, mais incomplète. Comme dans le cas de <i>Sky Greens</i> à Singapour et ce sont effectivement en majorité des légumes à feuilles qui y croissent et non pas les principaux aliments de subsistance à la base de la demande mondiale actuelle (céréales, grains, riz, etc.), nous éloignant ainsi de l'idée d'autonomie alimentaire totale, toutes populations confondues. La production devra donc être énorme pour parvenir à générer des revenus permettant d'assumer les lourdes sommes associées aux matériaux et équipements sophistiqués et à la valeur foncière des terrains situés en ville. Il faudra dès lors produire massivement des aliments non de base pour espérer arriver à être rentable et donc accessible financièrement pour cette nouvelle classe moyenne. Or, l'exemple du <i>Plantscrapers</i> à Stockholm a démontré que même avec des infrastructures aussi colossales que des tours de 12 étages, il n'est possible que de fournir 5000 personnes en légumes à feuilles. Et qu'advient-il des strates de populations les plus pauvres? Ces dernières comptent presque essentiellement sur la consommation d'aliments de subsistance pour combler leurs besoins alimentaires.</p>	Nul

Tableau 6.1 Analyse critique des réponses promises des fermes verticales face aux défis alimentaires ciblés par la FAO (suite)

Défis alimentaires ciblés par la FAO	Analyse critique des réponses promises	Jugement synthèse du niveau de réponse
Éradiquer la faim et l'insécurité alimentaire	<p>❖ Parallèlement aux faits relatant la distribution géographique de l'augmentation démographique prévue, rappelons que près de 90 % des gens souffrant de la faim sont en Asie du sud et en Afrique subsahariennes, tandis que dans les pays occidentaux, l'obésité monte en flèche. Autrement dit, là où la population croîtra, ce sera là où les gens seront les plus vulnérables face à l'insécurité alimentaire. Ainsi, repartons simplement du fait suivant avancé dans la précédente analyse : les fermes verticales ne parviendraient pas à nourrir la majorité de la population qui se trouve dans des pays défavorisés en raison des trop hauts coûts potentiels des aliments produits associés à une obligation de rentabilité marquée par des investissements initiaux colossaux. Notons de plus que le rythme effréné auquel augmentent les populations ne correspond pas au rythme avec lequel se développent les fermes verticales. Elles sont encore trop expérimentales, coûteuses et improductives. Il est alors difficile d'imaginer qu'elles arriveraient à suivre la cadence de l'explosion de la demande et donc d'éradiquer la faim et ce, malgré leurs progrès techniques à venir. Ensuite, rappelons que les quantités de production sont encore très faibles, qu'elles n'incluent pas d'aliments de subsistance et qu'elles requièrent une expertise technique complexe. Rappelons aussi que comme le précise Ziegler (2011), le réel problème dans l'insécurité alimentaire n'est pas le manque de ressources disponibles, mais bien dans les inégalités profondes de répartition générées par les systèmes alimentaires actuels. En quoi les fermes verticales contribueraient à une meilleure répartition considérant l'inaccessibilité supposée de leurs produits?</p> <p>Bien que les qualités nutritives découlant du paramétrage raffiné des conditions de culture aient été vantées, aucune étude n'est actuellement en mesure de prouver que ces dernières ne seraient pas affectées par le fait de pousser dans des médiums aussi artificiels, dépourvus de l'immense complexité de la vie microbiologique qui réside dans l'humus. À titre illustratif, les gens souffrant de faim ou de malnutrition ne viendront pas à bout de cette peine avec de petites quantités de salade trop chère et potentiellement peu nourrissante. Or, ne pouvant réellement assurer les besoins alimentaires de ces populations, il faut aussi en déduire qu'il serait évidemment impossible de prétendre pouvoir éradiquer la faim et l'insécurité alimentaire presque totalement représentées par ces dernières.</p> <p>❖ Aussi, les fermes verticales, pourraient potentiellement faire ombre aux mouvements de cultures et maraîchages en friches urbaines ou de ruelles vertes étant issus de projets communautaires en vue d'une meilleure résilience. D'autant plus, il faut se méfier de la prétention que ce modèle peut avoir quant à l'illusion d'acceptabilité culturelle universelle. Le rapport à la nature varie extrêmement d'une culture à l'autre donc une telle artificialisation ne peut être fantasmée à grand déploiement. On pourrait alors supposer que les fermes verticales auraient le potentiel d'avoir des répercussions négatives sur les pratiques locales. Ainsi, en plus de ne pas avoir le potentiel d'arriver à éradiquer l'insécurité l'alimentaire, ceci pourrait avoir pour effet d'impacter négativement les initiatives locales visant une meilleure autonomie. C'est pourquoi il a été jugé que non seulement ce modèle agricole alternatif ne pourrait pas contribuer à éradiquer la faim, mais en plus, il pourrait avoir le potentiel de l'aggraver.</p> <p>❖ Au regard de cette analyse, l'absence de remise en cause des structures rendant les populations vulnérables dérange. D'autres questionnements plus profonds en ressortent dès lors. L'obligation de productivité implicite à leur rentabilité ne s'inscrit-elle pas dans les mêmes paradigmes que ceux de l'agriculture industrielle conventionnelle à l'origine de l'injustice alimentaire?</p>	Aggravant

Tableau 6.1 Analyse critique des réponses promises des fermes verticales face aux défis alimentaires ciblés par la FAO (suite)

Défis alimentaires ciblés par la FAO	Analyse critique des réponses promises	Jugement synthèse du niveau de réponse
Améliorer la durabilité de l'usage des ressources	<ul style="list-style-type: none"> ❖ La contribution écologique la plus significative des fermes verticales est sans aucun doute la réduction substantielle des besoins directs en eau. De plus, l'argument avançant qu'une production verticale en milieu urbain engagerait dans une réduction de l'expansion des terres agricoles et donc qui engendrerait une diminution de la destruction des espaces naturels est tout aussi notoire. Néanmoins, est-ce que des laitues peuvent réellement sauver des forêts? Selon Goldstein, (2018), pour arriver à libérer 881 000 km² comme le promet Despommier, il faudrait multiplier par 35 millions des fermes telles que l'une des plus grandes actuelles : <i>Kameoka plant</i> près de Kyoto au Japon (2 tours de 900 m² ayant une superficie de 25 200 m² et produisant 21 pommes de laitues par jour). De plus, c'est la production de grains et de céréales, principalement dédiée à l'alimentation du bétail, qui constitue la plus grande source de consommation de terres et de ressources, pas la production de salade. Les fermes verticales ne produisent rien pour nourrir le bétail alors leur contribution ne peut être suffisante, car elles s'en prennent à une part dérisoire du problème en plus d'avoir potentiellement des impacts sociaux et environnementaux supérieurs à ceux estimés. À cela, ajoutons que ce modèle ne contribue pas systématiquement à la réhabilitation des superficies terrestres où les sols ont été ravagés par l'agriculture conventionnelle par d'autres plantations le permettant. Les réels espaces libérés de cultures industrielles grâce à la contribution des fermes verticales seront pris en charge par qui? Que deviendront-ils vraiment? ❖ La disponibilité de biomasse assurant la possibilité de création de circuits fermés est difficilement atteignable en ville. Le chapitre 5 a prouvé le rôle crucial des animaux dans l'avènement d'une synergie équilibrée. Les fermes verticales écartent pour l'instant complètement la notion d'élevage, mis à part pour l'aquaponie et même dans ce cas, l'écosystème reproduit est hautement simplifié et incomplet. Ainsi, les fermes verticales urbaines pourront ardemment se passer de l'usage d'intrants chimiques externes en plus de générer aussi des extrants potentiellement dommageables, tout comme c'est le cas pour l'agriculture conventionnelle. (Al-Kodmany, 2018) Les circuits totalement fermés sont effectivement actuellement très rares. Aussi, plusieurs symbioses sont mises de côté et il s'agit même souvent de système de monoculture. Il n'est dès lors pas exclu que des pathogènes pourraient s'insérer dans les cultures comme les procédés de défense naturelle sont hautement limités par rapport à une production impliquant des symbioses qui favorise la résilience naturelle des plantations. Ceci signifierait que les mêmes mécanismes qui ont induit l'agriculture conventionnelle à utiliser des produits de synthèse pour pallier l'absence de services écosystémiques seraient reproduits dans un système de fermes verticales. ❖ De plus, la promesse d'approvisionnement écologique en ressources mise de l'avant par les défenseurs de ce type d'agriculture est contestable. Reprenons le postulat avançant que selon les prévisions démographiques, ce serait les populations urbaines d'Asie, d'Afrique et d'Amérique du Sud qui auraient davantage besoin des contributions promises par le déploiement de fermes verticales. Certains acteurs agricoles tels que Swen Déral, l'entrepreneur français en permaculture verticale, contredisent Despommier en ce qui a trait aux promesses de haute efficacité énergétique. Déral avance effectivement qu'elles sont plutôt très énergivores, considérant les grands besoins potentiels de chauffage et de climatisation ainsi que les processeurs et ordinateurs nécessaires à l'automatisation des procédés. (Lucchese, 2017) La production énergétique des pays de ces régions repose en majeure partie sur la consommation de ressources fossiles et donc non renouvelables alors, il ne pourrait s'agir d'une amélioration de la durabilité de l'usage des ressources. Ajoutons aussi à ce calcul, les impacts socio-environnementaux de l'extraction des substrats hydroponiques ainsi que toutes les matières pétro-sourcées qui sont à entretenir et remplacer dont dépendent les fermes verticales pour fonctionner. ❖ Questionnons-nous alors : les fermes verticales ne reproduiraient-elles pas les mêmes cercles vicieux que le modèle agricole productiviste, cette fois intérieur plutôt qu'extérieur? 	Partiel

Tableau 6.1 Analyse critique des réponses promises des fermes verticales face aux défis alimentaires ciblés par la FAO (suite)

Défis alimentaires ciblés par la FAO	Analyse critique des réponses promises	Jugement synthèse du niveau de réponse
Adaptation aux changements climatiques	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Ce défi est celui le mieux répondu par ce type d'agriculture. Comme les fermes verticales impliquent la mise à l'abri des plantations, elles permettraient effectivement de prémunir les récoltes d'une résilience notable durant aux périodes de sécheresse et inondations, aux invasions d'espèces exotiques envahissantes, aux précipitations irrégulières et imprévisibles, etc. Ces aléas associés aux changements climatiques et au réchauffement des océans sont d'autant plus fortement variables d'une région à l'autre. Les cultures verticales assureraient ainsi un excellent rendement sur le plan de l'adaptation aux changements climatiques, et ce, peu importe la région d'implantation. ❖ Toutefois, reprenons la prémisse voulant que les fermes verticales ne puissent réalistement pas être déployées à grandes échelles dans tous les pays du monde. Rappelons-nous aussi que les réels défis climatiques liés à l'agriculture se trouvent dans les pays où la population est en pleine explosion et où plusieurs indicateurs de pauvreté pourraient freiner de développement d'une telle forme d'agriculture. De cette façon, il est possible de remettre en cause leur contribution réelle à la capacité d'adaptation des cultures aux changements climatiques. Plus précisément, on avance que cet apport serait en fait bien maigre puisque les fermes verticales s'érigeraient dans les pays qui seront relativement peu impactés par les changements climatiques. La précarité et la vulnérabilité demeurerait dès lors toujours au même endroit. ❖ Une question peut alors être soulevée : où et comment doivent être déployés les efforts en matière agricole en ce qui concerne l'adaptation aux changements climatiques? 	Partiel
Mitigations des changements climatiques	<ul style="list-style-type: none"> ❖ À titre de rappel, le GIEC a déclaré dans son plus récent rapport que l'humanité a 10 ans pour effectuer des transformations rapides et profondes afin d'éviter l'atteinte du seuil critique de réchauffement climatique d'augmentation de 1,5°C avant que ne s'en suive un enchaînement de perturbations désastreuses. Les estimations de Despommier quant au potentiel de captation de carbone des fermes verticales a de quoi rassurer: il avançait effectivement qu'elles pourraient restaurer jusqu'à 70 % des forêts, permettant ainsi de renverser les prévisions climatiques catastrophiques. Or, comme le stipule Goldstein (2018) et tel qu'évoqué aussi ultérieurement dans la présente analyse, ce potentiel promis n'est pas conséquent avec le type de plantation pouvant être cultivé dans les fermes verticales. En effet, 20 % des émissions mondiales proviennent du secteur agricole et majoritairement de l'élevage intensif du bétail qui en est responsable. D'une part en raison des surfaces gigantesques de cultures de céréales qu'il requiert et d'autre part en raison des émissions de méthane produites par les bêtes. Nous savons déjà que les fermes verticales n'ont pas le potentiel d'avoir une contribution sur ce plan puisqu'aucune céréale servant à nourrir le bétail ni aucun animal d'élevage mis à part le poisson ne s'y retrouve. ❖ Aussi, la majeure partie des pays du monde alimentent leurs réseaux électriques par les énergies fossiles. L'impact carbone sur ce plan a été écarté des calculs des défenseurs comme Despommier, tout comme celui relatif à l'approvisionnement et à l'entretien des matériaux plastiques. ❖ Ainsi, développer des technologies pour les rendre accessibles et rentables prend du temps et plusieurs ressources. Tel que le stipule le GIEC, le temps urge. Les investissements collectifs visant le développement des technologies des fermes verticales se feront-ils aux dépens d'autres alternatives ayant un meilleur potentiel de mitigation des changements climatiques? 	Nul

À l'instar de cette première couche d'analyse, les fermes verticales ne semblent pas être en mesure de répondre convenablement aux défis alimentaires. En effet, le principal facteur ayant émergé est que les bénéfices promis ne serviraient que les populations qui n'ont pas véritablement besoin de cette contribution et qui n'adresse pas non plus les enjeux les plus urgents. Les réelles nécessités associées à l'augmentation de la demande alimentaire et à l'éradication de la faim se trouvent dans les milieux urbains de l'Afrique, l'Amérique du sud et de l'Asie. D'ailleurs, les fermes verticales ne permettraient pas de produire des aliments abordables et assurant une alimentation substantielle comme l'a promis Despommier. Ainsi, les bienfaits vantés ne pourraient servir qu'aux populations qui ne souffrent pas de la faim, dont les récoltes sont peu ou pas menacées par les changements climatiques, le tout, en ayant une réduction partielle des impacts sur l'usage des ressources et la mitigation des changements climatiques.

6.1.2. Lowtech : Agroécologie

Contrairement aux fermes verticales, il existe une innombrable possibilité de variantes de projets agroécologiques. Il y a en fait, autant de formes et modèles qu'il peut y avoir de fermes. Ainsi, la présente analyse comporte davantage de généralités que celles proposées dans la section précédente. Elle ne peut effectivement pas couvrir tous les éléments compris dans l'ensemble des variations possibles, qui elles, dépendent surtout des réalités géographique, biophysiques et socio-économique de leur milieu d'implantation. Elle veille tout de même à en dégager les plus notables.

Il est d'autant plus important de noter qu'un certain biais dialectique a été ciblé pour cette portion de l'exercice analytique appliqué à l'agroécologie. Peut-être certains lecteurs auront déjà remarqué que la FAO cautionne et même recommande l'agroécologie comme modèle agricole alternatif (voir figure 5.1, section 5.1, page 38). Or, les défis alimentaires qui servent ici de critères d'analyse proviennent de cette même organisation. Il serait alors plutôt improbable de faire ressortir une incompatibilité entre les défis alimentaires que la FAO a elle-même ciblés et les principes agroécologiques qu'elle promeut. Les valeurs profondes de justice sociale de l'auteure expliquent ce choix de source pour la sélection des critères. D'autres organisations pourraient exposer d'autres types de défis et alors donner d'autres types de résultats quant à la contribution de l'agroécologie à ces défis.

Tableau 6.2 Analyse critique des réponses promises de l'agroécologie face aux défis alimentaires ciblés par la FAO

Défis alimentaires ciblés par la FAO	Analyse critique des réponses promises	Jugement synthèse du niveau de réponse
Faire face à la demande alimentaire croissante	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Précisons tout d'abord les trois scénarios possibles dans l'application de pratiques agroécologiques. Le premier concerne le déploiement des terres gérées traditionnellement par des communautés autochtones détenant le savoir traditionnel. Dans ce cas précis, la transmission et la consolidation sont jugées plus accessibles. Le deuxième scénario fait plutôt référence à la conversion de terres actuellement opérées par des méthodes traditionnelles. Il peut alors être complexe, long, coûteux et décourageant pour les agriculteurs de se lancer dans des démarches de transition. Le dernier scénario implique l'engagement de nouveaux agriculteurs sur de nouvelles terres. Les obstacles concernent davantage l'accès aux terres, aux conseils visant la transmission des connaissances et le temps devant être consacré aux apprentissages se basant essentiellement sur des observations. ❖ Dès lors, tel qu'exposé au chapitre 3, la croissance de la demande alimentaire sera concentrée dans les villes des pays pauvres. L'agroécologie peut être mise en œuvre avec peu de moyens financiers, principalement grâce au recyclage de la biomasse. Toutefois, l'acquisition de terres demeure un défi dans plusieurs cas. En ville, la valeur foncière supérieure et les superficies des terrains disponibles sont souvent insuffisantes pour atteindre une production rentable. En régions rurales, le phénomène d'accaparement des terres par des investisseurs internationaux au nom de l'agriculture industrielle rend aussi difficile l'accessibilité aux espaces de cultures. La possibilité de parvenir à tout de même nourrir les populations en produisant moins mais mieux requiert un contexte économique, financier, institutionnel, social et culturel propice. Il s'agit de facteurs pouvant grandement varier d'une région et d'une période temporelle à l'autre. ❖ Ensuite, on sait aussi qu'il y aura dans les années à venir, davantage de gens en moyens financiers exigeant alors une diversité alimentaire plus grande. L'agroécologie repose sur des principes de diversité donc saurait répondre à cette part de la demande. Toutefois, est-ce que cette nouvelle classe moyenne émergente saura ajuster ses standards face à une offre d'aliments variable et imparfaite? ❖ Toutefois, selon Altieri (2002), les coûts associés à l'établissement des infrastructures écologiques peuvent être très élevés pendant 3 à 5 ans. En effet, pour de nouvelles fermes, il s'agit de longs processus requérant beaucoup de temps d'observation avant de parvenir à des productions de quantité intéressantes. La viabilité et la rentabilité des pratiques ne sont donc pas toujours facilement atteignable, considérant le fort taux d'endettement de plusieurs petits producteurs et de la compétition face aux enjeux internationaux qui est vive. ❖ Ainsi, le déploiement d'une offre alimentaire suffisante pour faire face à la demande peut s'avérer complexe puisque les mécanismes ne s'insèrent pas dans une logique court-termiste répondant rapidement au marché comme c'est le cas actuellement avec l'agriculture conventionnelle. Quoi faire pour favoriser un contexte propice au développement de fermes agroécologiques? 	Partiel

Tableau 6.2 Analyse critique des réponses promises de l'agroécologie face aux défis alimentaires ciblés par la FAO (suite)

Défis alimentaires ciblés par la FAO	Analyse critique des réponses promises	Jugement synthèse du niveau de réponse
Éradiquer la faim et l'insécurité alimentaire	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Contrairement au développement actuel basé sur une croissance à tout prix, l'agroécologie est forgée par des préceptes voulant recentrer l'agriculture autour de l'humain et de la nature. L'éradication et l'insécurité alimentaire sont donc des préoccupations majeures adressées. La création de réseaux locaux résilients renforce les communautés en plus de créer les conditions propices au déploiement d'une économie circulaire. Cette circularité contribue à diminuer le gaspillage alimentaire. ❖ Il a été vu au chapitre 3 que le problème de la sécurité alimentaire n'est pas le manque de ressource mais bien la répartition qui, elle, peut plus facilement être assurée via de la favorisation d'une économie circulaire et d'un tissu social solide. Il est notamment important de souligner que l'agroécologie mise sur la protection et l'amélioration de l'équité et du bien-être. L'émancipation des femmes dans le secteur agricole, hautement préconisé par ce modèle, est aussi un vecteur clé pour lutter contre la pauvreté et l'insécurité alimentaire. ❖ De plus, ce modèle favorise des régimes sains, diversifiés et adaptés aux cultures locales, contribuant ainsi aux problèmes de malnutrition et d'insécurité alimentaire. Les savoirs ancestraux qui y sont valorisés sont mieux enracinés dans les communautés et donc plus transmissibles que des notions et pratiques s'éloignant des repères agricoles habituels comme cela peut être le cas avec les fermes verticales. ❖ Toutefois, comme pour l'analyse du défi précédent, parvenir à éradiquer la faim par l'entremise de l'agroécologie exige un changement profond pouvant être long et non uniforme. 	Partiel

Tableau 6.2 Analyse critique des réponses promises de l'agroécologie face aux défis alimentaires ciblés par la FAO (suite)

Défis alimentaires ciblés par la FAO	Analyse critique des réponses promises	Jugement synthèse du niveau de réponse
Améliorer la durabilité et l'usage des ressources naturelles	<ul style="list-style-type: none"> ❖ En mettant en valeur les fonctionnalités de la biodiversité au service des cultures, les fermiers sont graduellement en mesure d'éliminer bon nombre de dépendances aux ressources naturelles. La reconnexion et la valorisation des savoirs autochtones peuvent être porteuses d'une réconciliation profonde et globalisée avec la nature. Ceci pourrait entraîner une modification des relations entre les humains et la nature facilitant ainsi l'intégration d'un usage plus durable des ressources, et ce, en dépassant même le cadre des activités agricoles ❖ La diversité qu'implique l'agroécologie permet de protéger et de mettre en valeur les ressources naturelles. Aussi, elle laisse place à des cultures variées tout en améliorant aussi la santé des sols. Tel que vu au chapitre 5, ceci rend possible la réduction de l'utilisation d'intrants potentiellement polluants, l'augmentation de la capacité de rétention, réduisant aussi l'effet de lessivage dans les cours d'eau. En plus de permettre un changement de modèle agricole en profondeur, l'agroécologie pourrait aussi contribuer à grande échelle à la transition énergétique en écartant l'usage de ressources fossiles dans les pratiques de cultures. ❖ À cela, ajoutons qu'une production diversifiée ne signifie pas systématiquement que les fermes sont gérées de manière agroécologique. Certaines peuvent effectivement avoir recours à un verdissement partiel de leurs pratiques afin de continuer à répondre aux demandes du marché. Si les cultures ne se complémentent pas entre elles d'un point de vue écosystémique, les fermiers devront poursuivre l'usage d'intrants extérieurs potentiellement tout aussi dommageables pour les ressources naturelles qu'en agriculture conventionnelle. ❖ Néanmoins, il faut se questionner sur la réelle possibilité de conversion des terres actuellement dédiées aux pratiques industrielles. Si ces dernières demeurent en opération sans entamer de transition et que peu de terrains peuvent être destinés à la production agroécologique en ville, cela induit que l'expansion des surfaces de culture poursuivra d'empiéter sur les milieux naturels. ❖ Toutefois, considérant les fortes pressions de rentabilité exercée par le marché, il est pertinent de se questionner sur les réelles forces dont disposent les petits producteurs pour refuser l'usage d'engrais et de pesticides. 	Partiel

Tableau 6.2 Analyse critique des réponses promises de l'agroécologie face aux défis alimentaires ciblés par la FAO (suite)

Défis alimentaires ciblés par la FAO	Analyse critique des réponses promises	Jugement synthèse du niveau de réponse
Adaptation aux changements climatiques	<ul style="list-style-type: none"> ❖ La qualité du sol qu'implique la production agroécologique diversifiée améliore aussi la résilience et l'adaptation aux changements climatiques par rapport aux pratiques conventionnelles. Le partage de connaissances et la création participative des cultures rend les collectivités d'autant plus enclines à résoudre des problèmes locaux souvent régis par le climat. Bien que les effets en soient amoindris par la résilience naturelle qu'offrent les symbioses écosystémiques, il n'en demeure pas moins que les plantations sont exposées aux aléas extérieurs. Il n'est dès lors pas exclu que les récoltes en soient affectées. ❖ Notons aussi que les pays où les changements climatiques frappent le plus fort se trouvent dans les régions du monde les plus touchées par la pauvreté. Contrairement aux fermes verticales, l'agroécologie répond alors bel et bien au besoin d'adaptation des populations les plus vulnérables. Les pratiques de ce type d'agriculture servent alors à assurer une bonne stabilité et disponibilité des stocks alimentaires, contribuant ainsi à l'atteinte d'une souveraineté alimentaire. 	Partiel
Mitigation des changements climatiques	<ul style="list-style-type: none"> ❖ L'agroécologie implique très peu, voire aucune mécanisation, en plus d'intégrer des circuits courts, les conditions propices à une économie circulaire et locale ainsi qu'à une forte biodiversité. Ce sont tous des éléments offrant une excellente contribution à la mitigation des changements climatiques. Les principes derrière les pratiques permettent alors de rompre le cercle vicieux qu'a généré l'agriculture actuelle face à la contribution et la vulnérabilité aux changements puisque l'usage des carburants fossiles peut facilement être écarté de l'équation. 	Total

À la lumière de cette analyse critique, il en ressort que l'agroécologie semble présenter des éléments de réponse satisfaisants pour faire face aux défis alimentaires. Comme il s'agit intrinsèquement d'une approche holistique, englobant de manière complète les enjeux d'une problématique complexe et systémique, le potentiel de réponse réel est naturellement bien adapté. La section suivante du document approfondira justement le caractère systémique évoqué dans ses niveaux d'analyse les plus profonds pour les deux alternatives agricoles.

6.2. Contributions dans une perspective systémique de développement durable

Dans la section 6.1, il a été question d'évaluer si les fermes verticales et l'agroécologie auraient le potentiel de répondre aux défis alimentaires de la FAO. La section 6.2 vise maintenant à adresser le deuxième volet de la question, c'est-à-dire la contribution systémique de développement durable des deux options étudiées au développement durable.

Les résultats de la section 6.1 ont indiqué que les fermes verticales de type *Farmscrapers* semblent ne pas pouvoir répondre aux défis alimentaires de la FAO. Il apparaît alors évident que la réponse à la deuxième partie de la question structurante ne pourra être positive. En effet, il ne peut être question d'une résolution systémique de la problématique s'il a été convenu que même au niveau de la résolution des symptômes, elle ne suffit pas. C'est pourquoi, l'analyse critique portant sur la contribution des fermes verticales dans une perspective systémique de développement durable veillera plutôt à déceler les raisons derrière cette insuffisance. Dépendamment des conclusions qui en émaneront, il sera possible de proposer des potentiels leviers qui leur permettraient de contribuer aux défis alimentaires dans une perspective systémique de développement durable. Ces leviers seront présentés dans le chapitre des recommandations, soit le chapitre 7.

Pour l'agroécologie, il a été conclu qu'à l'opposé, ce modèle semble mieux répondre aux défis alimentaires. Il sera alors question de comprendre quels sont les facteurs qui ont permis d'en faire une stratégie plus soutenable face aux défis alimentaires et si ceux-ci s'inscrivent dans un raisonnement systémique.

L'objectif de cette présente section est de répondre au deuxième volet de la question de recherche, à savoir : si les fermes verticales et l'agroécologie peuvent être considérées comme des alternatives s'inscrivant dans une perspective systémique de développement durable.

Les notions de développement durable, de résolution de problème et de pensée systémique seront premièrement abordées aux points 6.2.1 et 6.2.2. L'évaluation de l'application de la pensée systémique dans la compréhension des défis alimentaires et dans les alternatives agricoles proposées sera ensuite réalisée aux points 6.2.3 à 6.2.5.

6.2.1. Le développement durable et la résolution de problème

Afin de bien saisir ce qu'entend l'auteure par « développement durable », analysons la portée de la définition proposée : « Conception holistique d'un développement humain équitable permettant une relation symbiotique avec le monde naturel » (Définition de l'auteure)

Il ne s'agit pas d'un angle très fréquemment employé dans les différentes définitions existantes ou encore, dans la culture populaire. Le développement durable a été défini pour une première fois en 1987 dans le

rapport Brundtland. Il s'agit aussi de la définition la plus abondamment employée allant alors comme suit : « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs » (Commission mondiale sur l'environnement et le développement [CMED], 1987). Cette définition est contestée par l'auteure puisqu'elle revêt d'un caractère foncièrement anthropocentriste et simpliste, écartant toute possibilité de regard teinté d'une compréhension profonde de l'importance nos liens d'interdépendance avec le monde naturel.

La vision du développement actuel est une source insatiable de problématiques complexes et préoccupantes. Nos schèmes de pensées peinent à mettre en place des solutions parvenant à les adresser. En effet, nos paradigmes actuels quant à la résolution de problèmes sont notamment imprégnés de divers événements historiques ayant peu à peu ou drastiquement créé une scission mentale dans notre conception du monde et dans notre rapport avec la nature. On observe des comportements destructeurs pour l'environnement depuis la révolution néolithique. Ce serait donc le développement de la technique couplée à la croissance démographique et la vision anthropocentrée des religions monothéistes dominantes qui constitueraient le socle de notre relation actuelle avec le reste du monde biophysique.

Ajoutons aussi que l'humain est fondamentalement curieux et a soif d'explorer et de repousser les limites de l'horizon. Il poursuit le développement d'une découverte réalisée jusqu'à ce qu'il y ait des problèmes suffisamment importants pour l'empêcher de poursuivre. (Harari, 2015) Ainsi, l'humain ne serait pas naturellement conçu pour changer ses comportements si la rétroaction négative du résultat de ses actions n'est pas immédiate. (Meadows, 1999) Il le serait encore moins si les rétroactions négatives projetées sur une plage de temps plus lointaine, tel que les prévisions centenaires de changements climatiques. Comme il s'agit à la fois d'une conception lointaine et qui concerne le monde naturel dont il se sent dissocié, il est difficilement concevable qu'un écho encourageant une proactivité à la hauteur de l'ampleur du défi ne surgisse.

La vision mécaniste provenant des concepts philosophiques cartésiens a aussi très fortement contribué à notre rapport à la résolution de problème. Le philosophe Descartes, le père de la pensée cartésienne, a grandement influencé toutes les sciences, en inculquant une vision très mécanique de la résolution de problèmes : isoler l'élément problématique pour le comprendre et le résoudre. Dans son ouvrage *Discours de la méthode* (Descartes, 1637), il propose de régler des situations problématiques par des solutions simples afin de « réparer » certains effets sans prendre en compte la profondeur de la situation. Un autre philosophe ayant contribué de façon majeure à l'attachement de la pensée moderne à la stricte analyse des phénomènes observables est Emmanuel Kant (1781), dans son œuvre *Critique de la raison pure*. Ce type de raisonnement a tout de même des effets positifs à court terme. Cette vision n'incite donc pas à revoir ni à remettre en question de manière plus macroscopique un système dans son ensemble. (Donnadieu et Karsky, 2002)

6.2.2. Le développement durable et la pensée systémique

La compréhension de notre rapport avec la résolution de problème est essentielle à l'établissement des bases d'un réel développement « durable ». Bien que nous ayons survolé quelques pistes, plusieurs angles morts persistent. La vision compartimentée comme celle de Descartes empêche d'avoir une vue d'ensemble sur un système, ce qui réprime le développement durable. Intégrer cette conception peut permettre d'éviter de tomber dans les mêmes paradigmes que le développement que nous connaissons actuellement. Ainsi, pour viser un développement durable et équitable qui offre des réponses reposant sur une relation symbiotique avec le monde naturel, la pensée systémique est nécessairement un modèle de pensée à adopter et à appliquer. Donella H. Meadows, docteure en biophysique de Harvard et auteure du livre *Thinking in Systems* (2009) est l'un des principaux précurseurs de la pensée systémique. Elle avance que cette approche permet d'accepter et d'intégrer la complexité et de proposer une orientation vers de nouvelles méthodes de résolution de problèmes s'attaquant aux différentes couches de complexité de ceux-ci plutôt qu'uniquement à leurs symptômes apparents. (Donnadieu et Karsky, 2002) La figure 6.3 à la page suivante illustre l'application du modèle de l'iceberg à la problématique alimentaire.

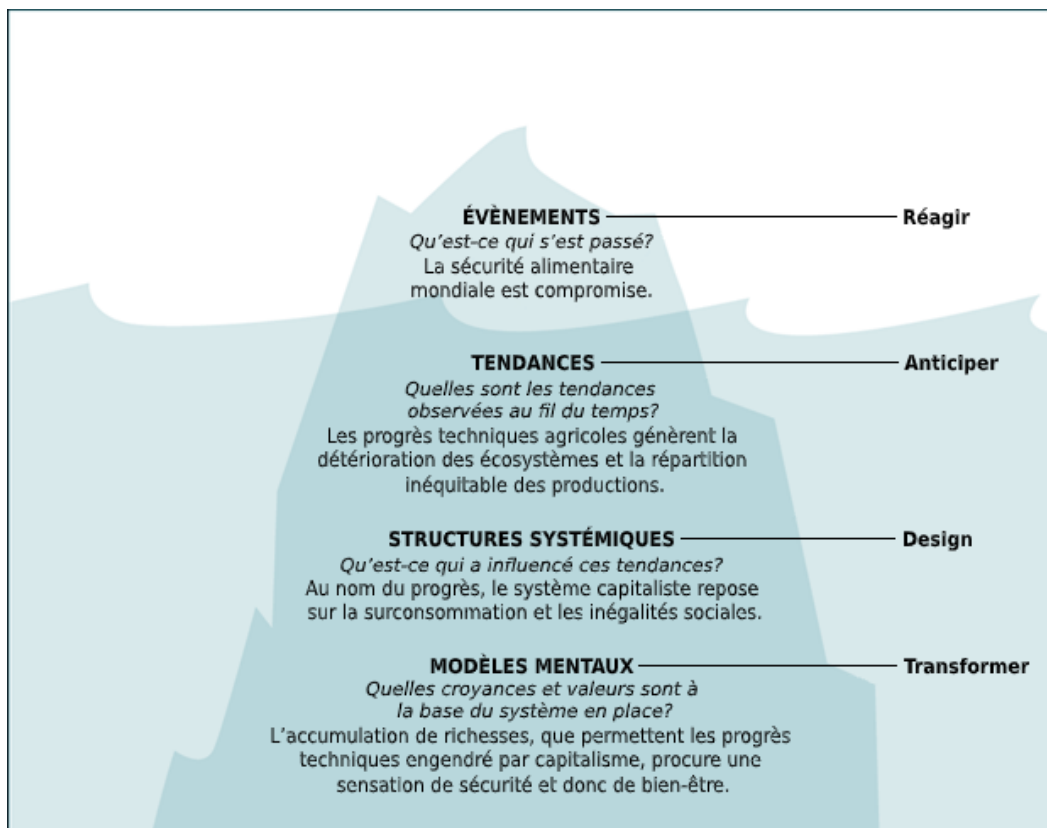


Figure 6.1 Pensée systémique : Le modèle de l'iceberg appliqué à la problématique alimentaire (Inspiré de : Ecochallenge, 2020)

Tout d'abord, dans le premier niveau de la pensée systémique, la problématique se décrit simplement par ce qui est observable et les actions qui en découlent se traduisent principalement en une réaction immédiate aux symptômes visibles. Elle permet de causer moins d'inconfort et de perturbations que les solutions issues des autres niveaux plus profonds de la pensée systémique, mais contribue souvent à alimenter la source du problème.

Les tendances se caractérisent par l'ensemble des actions ou des modèles, qu'ils soient fréquents, répétés ou non, à l'origine de l'événement. On tente d'en faire ressortir les récurrences historiques et le rythme de l'évolution pour mieux comprendre sans résoudre l'origine du problème. Les tendances permettent de réfléchir au « pourquoi » de l'événement. Les changements à ce niveau n'auront pas d'impacts puissants, et sur le long terme, ils permettent seulement d'anticiper l'évènement, sans vraiment résoudre son origine. Ainsi, dans le cas des questions alimentaires, on s'intéresse à comprendre ce qui a mené à l'avènement d'une agriculture agressive et injuste, mais en ne parvenant pas nécessairement à faire des propositions qui changeront les tendances des mécanismes implantés. C'est précisément ce qui a été réalisé dans les chapitres 2 et 3 du document.

Pour la deuxième portion de l'analyse, partons maintenant du précepte suivant : on souhaite se détacher de l'agriculture conventionnelle pour arriver à répondre durablement aux défis alimentaires et, pour ce faire, on doit s'en prendre aux causes profondes qui les ont générés. On se doit alors de connaître initialement l'origine de ces causes pour ensuite statuer si une alternative proposée semble pouvoir parvenir à identifier les racines de la problématique et de quelle façon elle s'y prendrait.

Le troisième niveau est celui des structures systémiques. À ce stade du modèle de l'iceberg, les raisons des tendances observées du niveau antérieur sont mises en doute pour comprendre les mécanismes du système ayant amené la problématique. Dans le cas qui nous intéresse, pour questionner les causes profondes derrière le développement d'une agriculture industrielle qui compromet maintenant la sécurité alimentaire mondiale, il importe de comprendre et de mettre en doute le capitalisme.

Finalement, les modèles mentaux se caractérisent par l'ensemble des croyances, concepts et valeurs qui forment la vision du monde des êtres humains, que ce soit individuellement ou collectivement. Selon le modèle de l'iceberg, ces derniers représentent l'étape la plus profonde lors de l'analyse d'une problématique. Comme l'explique Donella Meadows, en utilisant les points de levier dans un système complexe, c'est au niveau des paradigmes et des visions du monde que les changements induits auront le plus d'impact à long terme, puisqu'une intervention aura des effets sur la structure des systèmes, sur les tendances et, ultimement, sur l'évènement de départ (Meadows, 1999). À ce stade, nous devons alors nous questionner sur ce qui a incité l'humain à se diriger vers un modèle aussi destructeur que le capitalisme et sur ce qui le maintient dans cette position.

6.2.3. La pensée systémique et les défis alimentaires

La sécurité alimentaire mondiale est compromise par le progrès technique ayant mené à l'industrialisation et à la mécanisation de procédés naturels qui elle, a été induite par l'évolution des forces capitalistes. Ce progrès repose sur la surexploitation des ressources, la surconsommation et les inégalités sociales, mais au nom de quoi? Tel que le propose Pellegris (2018) dans son ouvrage *Transformations agricoles et agroalimentaires : entre écologie et capitalisme*, la science fait référence à la notion de période Anthropocène pour exprimer la puissance géophysique des perturbations qui ont résulté de l'évolution des activités humaines. L'auteur de cet ouvrage propose plutôt d'employer le terme « Capitalocène » pour mettre de l'avant que le capital, qui vise un auto-accroissement perpétuel en étant incapable de considérer les limites, est réellement à l'origine de la problématique. Le capital est toutefois une fiction créée par l'humain. Les fictions demeurent importantes dans les constructions anthropologiquement structurantes. C'est ce qui nous distingue du règne animal. (Harari, 2015) Néanmoins, l'idée rappelant qu'une réalité imaginaire peut être transformée par le travail humain rassure, bien qu'il prenne d'immenses efforts. En effet, l'humain ne serait pas indéniablement condamné à être dans cette position de perturbateur géophysique en tant que tel. On peut ainsi plus facilement arriver à mettre en lumière ce qui doit être adressé dans la résolution systémique d'un problème plutôt que de refléter l'idée que l'humain est irréversiblement nuisible.

Pellegris (2018) avance aussi dans le même ouvrage que l'accroissement infini proposé par le capitalisme éloigne de la notion du « suffisant » et est parvenu à bouleverser notre rapport au sentiment de sécurité en offrant une réponse plutôt basée sur la notion de « surplus ». Pour nuancer, notons que dans le dernier siècle, cette notion s'est transformée en une profitabilité et une croissance à outrance, ne servant réellement qu'à la poignée d'actionnaires, dépassant maintenant largement la notion de surplus. Le terme surplus sera tout de même employé pour le reste de l'analyse pour des fins comparatives étant donné qu'il est très utilisé dans la littérature. D'innombrables autres forces et croyances humaines sont derrière l'avènement du capitalisme et pourraient faire et font déjà l'objet d'une myriade d'études. Dans le cadre de ce travail, c'est sur l'aspect de sécurité (illustré à la figure 6.3 de la page 60) ainsi que sur ceux évoqués dans l'analyse de notre rapport à la résolution de problème du point 6.2.1 que nous nous concentrerons.

Le capitalisme reconforte grandement le besoin de sécurité inhérent à l'humain en proposant une illusion d'accessibilité au confort infini. (Ziegler, 2002) On pourrait alors avancer que c'est la manière dont le capitalisme répond au besoin humain de sécurité qui le rend possible et le maintien en place. Dans un système capitaliste, l'argent circule grâce à un mode de production qui repose sur des surplus. C'est donc avec cette offre de surplus que le capitalisme répond au besoin de sécurité de l'humain.

Étant donné que les techniques de l'agriculture industrielle reposent sur la mécanisation des méthodes, il pourrait s'avérer logique d'en déduire que c'est au moment de la révolution industrielle que le déséquilibre

entre une production suffisante et une surproduction destructrice est apparu. Dans son ouvrage *Sapiens : une brève histoire de l'humanité*, Harari (2015) propose que contrairement à ce raisonnement, ce déséquilibre remonterait plutôt au moment de la révolution néolithique, marquée par l'avènement de l'agriculture, où l'humain connu pour la première fois, ce rapport avec l'accumulation de surplus.

Selon le cas qui nous intéresse, l'agriculteur utilise la production de surplus pour s'enrichir beaucoup et rapidement. Pour y arriver, il doit vendre ses aliments le moins cher possible pour accéder à la plus grande part de marché possible et ainsi vendre le plus possible. Ses marges de profits sont effectivement tellement faibles qu'il doit vendre à gros volume pour survivre dans le système capitalisme. Le consommateur lui, veut avoir accès à une offre abondante d'aliments à faible prix. Il en vient aussi à plus facilement adopter des comportements irresponsables, étant donné le détachement face à la provenance des produits qu'ils consomment générée par la distance. (Bommert et Landzettel, 2019)

Une solution durable à notre problématique de départ à l'effet que la sécurité alimentaire mondiale est compromise, serait alors une solution qui répond au besoin humain de sécurité autrement que par la production de surplus induite par le capitalisme. L'idée n'est pas de changer cette valeur immuable et fondamentale à la constitution humaine, mais bien de l'adresser sous un autre angle. Dans une optique de développement durable, c'est notre potentielle capacité à répondre à ce besoin en se réinsérant dans des processus naturels qui nous permettra de résoudre durablement la problématique. Cette approche nous poussera à nous limiter à ce qui a du sens dans les processus et fonctionnements naturels en en faisant partie intégrante et ainsi en laissant toute la place à notre créativité humaine pour composer notre système de solutions.

Comment les fermes verticales et l'agroécologie s'inscrivent dans ce raisonnement systémique? Quels systèmes de valeurs ces solutions servent-elles vraiment? Quelles en sont les zones aveugles? Il a été vu dans la section 6.1 de cet essai que les fermes verticales, telles que constituées actuellement, répondent de manière incomplète aux défis alimentaires. Sur les questions de fond : pourquoi? Où sont les failles du caractère « durable » de leur développement? De plus, il a été conclu que l'agroécologie répond en profondeur aux défis alimentaires, mais semble complexe à déployer à grande échelle. Pourquoi? Bien qu'elles pourraient aussi faire l'objet d'une autre thèse à part entière, les deux prochaines sous-sections survoleront respectivement les grandes lignes des pistes de réponses à ces questions.

6.2.4. La pensée systémique et les fermes verticales

Reprécisons d'abord que le modèle de fermes verticales analysé au courant du chapitre 6 fut celui des *Farmscrapers*. D'autres modèles comme celui des fermes de tailles basses ou sur toit pourraient parvenir à répondre autrement aux défis alimentaires et aux questions systémiques de la problématique, mais ils ne feront pas partie de ce travail.

Il a été conclu à la section 6.1 que les fermes verticales découlant du modèle étudié, n'offrent pas un vrai changement de paradigme en plus d'avoir un potentiel de contribution vraiment minime aux enjeux soulevés. Elles demeurent dans une vision anthropocentriste et mécaniste de résolution de problème en reproduisant artificiellement des procédés naturels tels que l'a fait l'agriculture industrielle. Elle ouvre aussi la porte à toutes sortes de pratiques non réglementées et donc potentiellement plus dommageables. Ce sont effectivement les mêmes préceptes qui imposent une hyperproduction et une obligation de profit rapide au nom de la génération de surplus qui elle, permet de répondre aux besoins de sécurité de l'humain. Elles s'inscrivent dans l'obligation d'obéir aux forces du marché par l'optimisation, le forçage et l'accélération de procédés naturels.(Ponisio et Ehrlich, 2016) Afin d'illustrer le propos, on peut en déduire qu'il s'agit simplement d'une production industrielle, au même titre que l'agriculture conventionnelle, mais cette fois, réalisée à l'intérieur d'un bâtiment plutôt qu'en plein champ. Les groupes de personnes derrière l'établissement de fermes verticales seraient probablement les mêmes que ceux derrière les productions industrielles actuelles et serviraient les mêmes intérêts. La tendance est effectivement la même : le développement de progrès techniques pour produire de plus en plus vite et générer le plus possible de profits en ayant pour seule nuance de consommer moins d'espace, d'eau et d'intrants chimiques.

Cependant, d'autres questions persistent. Notre rapport à la nourriture est au cœur de notre relation à la nature puisqu'il est à la base de notre survie (Bommert et Landzettel 2019; Fortier et Lortie, 2019). Quel genre de relation développerions-nous dans un modèle où nos aliments sont produits dans des lieux aux allures de laboratoires gardés sous haute surveillance comme dans l'exemple de la ferme *Sky Greens* à Singapour? N'y a-t-il pas là un risque d'aggravement potentiel de la distorsion de nos rapports à la nourriture et donc à la nature? Qu'en est-il du caractère fondamentalement social de l'agriculture? Les gens iront-ils vraiment se rassembler pour échanger, partager et célébrer les récoltes dans un milieu aussi stérile? Aussi, l'agriculteur ne devrait pas être perçu comme un simple fournisseur de produits à consommer. Il devrait être valorisé comme un acteur prenant soin du sol, de la biodiversité et du tissu social d'une communauté. Qu'advient-il alors de notre rapport aux producteurs et de la valorisation de leur métier?

Les solutions techniques et technologiques que les fermes verticales mettent de l'avant offrent une réponse simple à un problème complexe. Selon Pant (dans : El Bilali, 2019), les innovations technologiques ne pourraient tout simplement pas être suffisantes pour atteindre la sécurité alimentaire. Il avance notamment que le paradigme productiviste n'aurait pas la capacité de générer la transformation radicale requise. Il serait intéressant de se questionner si ces conclusions et réflexions sur les fermes verticales pourraient être extrapolées à l'ensemble des solutions *hightech*. Les hautes technologies ont effectivement souvent la prétention d'avoir le pouvoir de reproduire ce que l'univers a créé en plusieurs milliards d'années. Elles sont le fruit de l'évolution des sciences construites autour de la pensée cartésienne et donc, autour de l'action de réparer et réagir aux problèmes qui surgissent.

De plus, le paradoxe de Jevons offre une explication quant à cet effet rebond. Ce paradoxe indique que les avancées technologiques peuvent augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources, mais tend aussi à augmenter la consommation de ressources par personne et donc, l'extraction des ressources naturelles. Il s'agit alors d'un seuil d'efficacité que les technologies peuvent offrir mais que passé ce seuil, elles peuvent être plus dommageables que si elles n'avaient jamais existées. (Scheider, 2006)

Ainsi, il est maintenant possible de conclure que le type de fermes verticales que nous avons choisi d'analyser dans le cadre de cet essai, soit celui des *Farmscrapers*, ne parvient pas à répondre aux défis alimentaires. Comme démontré, ce type ne propose effectivement pas de solutions systémiques à la problématique initiale. Il propose d'anticiper et de réagir aux événements et aux tendances, mais pas de transformer les structures systémiques et les modèles mentaux qui les soutiennent. Ce n'est alors pas suffisant pour atteindre le seuil de durabilité systémique. Toutefois, auraient-elles le potentiel de l'atteindre moyennant quelques nuances?

6.2.5. La pensée systémique et l'agroécologie

Bien qu'il existe aussi une variété infinie de systèmes agroécologiques, les principes de base sur lesquelles la pensée systémique repose permettent de répondre à la problématique en offrant un changement de paradigme de fond. Le caractère intrinsèquement holistique de l'agroécologie en fait une alternative naturellement adaptée au caractère complexe et systémique des causes profondes qui sont derrière les défis alimentaires.

En ce qui a trait au rapport à la résolution de problèmes, l'agroécologie transcende le simple réajustement des pratiques dommageables. Elle met notamment de manière explicite l'accent sur les aspects sociaux et économiques des systèmes alimentaires en permettant l'avènement de projets de coopératives ou d'économie sociale et solidaire. Elle accorde une place centrale aux droits des peuples autochtones, des jeunes et des femmes dans le fondement de ses principes, répondant alors adéquatement et à long terme aux questions d'injustices sociales. (FAO, 2018a; Tomich et al., 2011) « En agroécologie, on ne parle pas de brevets, ni de propriété intellectuelle, mais bien de terres et de territoires, de culture, de savoirs et connaissances et du vivre ensemble. » (Développement et paix, 2017) Le respect des traditions et des savoir-faire locaux favorise un dynamisme social assurant l'implication de davantage d'acteurs et donc la résilience des systèmes alimentaire.

Cette technique de production répond ainsi au besoin fondamentalement humain de sécurité par l'entremise de l'enrichissement collectif plutôt qu'individuel. Elle met également en valeur la notion du « suffisant » plutôt que la quête du surplus (Pellegris, 2018). C'est par la promotion et l'intégration de l'autosuffisance et de la résilience locale basées sur l'intégration profonde des facteurs symbiotiques que l'agroécologie permet une alternative à l'accroissement infini comme moyen pour répondre au besoin de sécurité. Grâce

à une compréhension et à une adaptation locale aux risques pouvant menacer les récoltes, l'autonomisation des communautés parvient à garantir une résilience plus solide, plus engagée, qui contribue au sentiment de confiance envers le système et donc, à sa sécurité.

Un exemple pouvant faire office de preuve que l'agroécologie ne s'inscrit pas dans une logique capitaliste et qu'elle pourrait donc la contrer réellement, est qu'actuellement, elle se développe et s'enracine mieux dans les régions moins industrialisées et donc où les politiques sont généralement, bien que non exclusivement, moins sous le joug du capitalisme. C'est effectivement en Amérique latine et en Afrique que l'on retrouve actuellement le plus grand nombre de fermes agroécologiques.(Altieri et Toledo, 2011)

De plus, il a été soulevé que la plus grande part de conséquences environnementales et économiques résidant dans tout ce qui entoure la production de viande. Or, l'agroécologie en implique implicitement une réduction majeure. Comme les procédés industriels y sont complètement écartés, l'élevage d'animaux est fait avec une approche symbiotique et ne peut alors pas être fait de manière aussi qu'extensive qu'actuellement. Le niveau trophique de production d'aliment et donc de nos choix alimentaires seraient alors orienté vers le bas de la chaîne plutôt que vers le haut, réduisant ainsi drastiquement l'impact écologique de notre consommation.

Le système de valeur qui y est défendu répond au clivage que l'humain à lui-même créé entre lui et le reste de la biodiversité soit l'une des bases de la problématique. On adresse les problèmes du vivant avec la même complexité que le vivant, via la création d'un réseau puissant de liens dynamiques et interconnectés. D'ailleurs, tel qu'il a été exposé au point 6.2.1, notre rapport à la résolution de problème est fortement imprégné d'une vision micro et anthropocentrée dans la construction occidentale de la vision du monde. L'assimilation des complexités naturelles implique dès lors un contact de très grande proximité avec la nature. L'agroécologie répond à cette part systémique du problème lié à la perte de contact avec la nature.

Ainsi, c'est pour des raisons systémiques que l'agroécologie répond le mieux à la problématique systémique de résilience alimentaire mondiale. C'est toutefois aussi pour des raisons systémiques que cette alternative peut être très longue et complexe à implanter durablement. Il est convenu qu'une compréhension holistique d'une problématique prend du temps. Il en prend davantage pour insuffler des transformations. Est-ce que dans le cas de l'urgence des problématiques alimentaires, l'agroécologie ne prendrait pas trop de temps? Il n'est alors pas exclu non plus dans ce cas, comme dans celui des fermes verticales, que des pratiques dommageables s'insèrent dans une logique de verdissement partiel, mais plus rapide de l'agriculture conventionnelle, au nom de l'agroécologie.

En complémentarité à la question soulevée à la fin de la section précédente, est-ce que ces conclusions et réflexions quant à l'agroécologie pourraient s'extrapoler à l'ensemble des solutions *lowtech*? Les basses technologies s'imprègnent d'un rythme plus lent, plus apparent à celui des forces naturelles en simplifiant

au maximum les interventions humaines (Americana, 2019). Jumelées à une approche biomimétique, elles auraient même le potentiel de surpasser la simple réduction d'impact anthropique en proposant une approche régénératrice. Est-ce que les *lowtech* seraient la voie à supporter pour une réelle transition écologique et sociale, tous secteurs confondus?

6.3. Synthèse

Les deux volets de l'analyse ont permis de convenir que les fermes verticales de type *Farmscrapers* ne répondent pas durablement aux défis alimentaires mondiaux, contrairement à l'agroécologie qui y répond mieux. Il a en effet été démontré que l'hyper-artificialisation des procédés ne peut être une approche à adopter pour remplacer l'agriculture conventionnelle. Les coûts environnementaux qu'elle implique ne sont pas souhaitables et la complexité des interactions naturelles vitales à la base de la sécurité alimentaire est impossible à reproduire technologiquement.

Rappelons que le principal argument soutenu par Despommier est qu'une production verticale permettrait la conversion des terres actuelles en milieux de restauration et conservation écologique. Il avance que si toutes les villes du monde produisaient 10 % de leur alimentation grâce aux fermes verticales, l'équivalent de 881 000 km² de surfaces terrestres pourrait être libéré. Ces terres seraient ainsi disposées à reboiser 60 à 70 % des forêts décimées par l'agriculture conventionnelle et, ainsi, il serait possible de renverser le cours des changements climatiques. (Despommier, 2019)

Ces calculs ont été contestés par Goldstein (2018) (section 6.1, page 52 du présent document). Il renie les promesses de Despommier grâce à l'analyse des productions d'une des fermes verticales les plus productives au monde, la ferme *Kameoka plant* près de Kyoto au Japon. Cette dernière ne parvient pas à s'approcher un tant soit peu des projections de Despommier. De ce fait, le principal argument soutenant le recours aux *hightech*, comprenant leurs lots de conséquences environnementales, serait invalide.

Considérons aussi que dans un système capitaliste, les fermes verticales ne pourront pas être mises en place avec l'intention de restaurer les milieux naturels comme objectif central. Ce sont les promesses d'hyper productivité qui seront mises de l'avant et seraient réalisées par les mêmes acteurs servant les mêmes intérêts qu'actuellement. Rappelons que la base analytique de la pensée systémique repose sur le précepte que c'est le besoin humain de sécurité qui est à la base de la problématique d'insécurité alimentaire mondiale. Comme la tendance de développement de progrès techniques aux fins d'hyperproductivité demeure la même que dans le cas du modèle agricole actuel, les fermes verticales répondent, elles aussi, au besoin de sécurité par la notion du « surplus » et d'accroissement à outrance des profits.

Toujours dans cette logique de développement dans un système capitaliste, qui s'occuperait réellement de restaurer les km² de terres que les fermes verticales libéreraient? Les hauts rendements attendus des *Farmscrapers* pourraient inversement avoir pour effet de cautionner la poursuite de l'étalement des périmètres d'urbanisation sous prétexte qu'elles sont tellement efficaces, que l'on a plus besoin des espaces agricoles en périphéries des villes. Or, comme il n'est pas assuré que les espaces libérés pourraient réellement servir à la reconversion de milieux naturels, on pourrait davantage s'attendre à ce que ces derniers soient plutôt destinés au développement immobilier qui répondrait aux prévisions de croissance démographique et d'urbanisation de la population. Les espaces occupés par les activités humaines continueraient alors d'empiéter sur les milieux naturels et donc, à contribuer à la perte de résilience en raison des déséquilibres qui en résulteraient. Ainsi, l'hyperproductivité promise des *Farmscrapers* ne permettrait non seulement pas de reconvertir les espaces libérés en milieux naturels, mais pourrait même justifier la poursuite de la destruction des derniers écosystèmes.

De ce fait, si les *Farmscrapers* prétendent pouvoir surpasser les rendements de l'agriculture industrielle, les pratiques agrécologiques le pourraient tout autant. Cette capacité de haute production repose sur la densité et la diversité des productions plutôt que sur l'intensification de monocultures étalées. Toutefois, l'agroécologie assure une productivité qui s'appuie sur la notion du « suffisant » plus que du « surplus », modifiant ainsi de manière systémique les causes profondes de la problématique. Selon Pierre Rabhi, autre grand penseur de l'agroécologie, cette transformation renvoie à la notion de « frugalité heureuse » voulant que les surplus soient partagés, que le temps de travail soit diminué et que les moments pour profiter de la vie en soient multipliés. « Aujourd'hui, j'ai tout ce qu'il me faut. Pourquoi vouloir entasser? » (Rouger, 2011).

Dès lors, en plus d'offrir de produire tout autant, l'agroécologie permettrait de réhabiliter plusieurs services écosystémiques. Par exemple, si les 38 % des surfaces terrestres actuellement dédiées à l'agriculture (Despommier et Ellingsen, 2008) étaient converties en espace agroécologique, l'agriculture permettrait non seulement de produire à foison, mais aussi de reconstituer des écosystèmes sains, pérennes et abondants.

L'exemple étudié des *Farmscrapers* a été choisi pour faire ressortir de manière extrapolée les caractéristiques structurantes de cette alternative. Ainsi, moyennant quelques nuances, les fermes verticales pourraient parvenir à tendre vers une formulation de réponse plus systémique et agir à titre de complément à l'agroécologie. Ces propositions d'ajustements seront présentées dans le chapitre 7.

7. RECOMMANDATIONS

L'ensemble des démarches effectuées tout au long de ce travail a culminé durant la réalisation d'une analyse ayant permis de développer un regard critique sur la réelle contribution des fermes verticales et de l'agroécologie à la problématique de sécurité alimentaire. La conclusion centrale qui en a émanée est que les fermes verticales ne répondent pas durablement aux défis alimentaires, contrairement à l'agroécologie qui y répond mieux. À la lumière de ces résultats, le chapitre qui suit suggèrera des recommandations permettant de mieux répondre à la problématique. Elles seront formulées en vue d'accompagner les acteurs agroalimentaires dans l'élaboration de stratégies de mise en œuvre durable et systémique de ces alternatives agricoles. Elles visent à faire émerger des projets réfléchis, écologiquement responsables, économiquement viables et socialement dynamisants.

D'abord, la grande conclusion structurante relative aux résultats obtenus propose le recours ponctuel et ciblé aux fermes verticales ainsi que le déploiement massif et intégré de l'agroécologie. Les deux prochaines sections étayent alors les recommandations relatives à ces deux propositions.

7.1. Fermes verticales

Le recours ponctuel et ciblé aux fermes verticales repose sur le principe que partout où il est possible d'exercer l'agroécologie en plein sol, il est impératif de le faire. Les fermes verticales pourraient alors être ponctuellement déployées dans certain contexte bien précis où l'agroécologie extérieure n'est pas praticable. Il sera toutefois requis d'appliquer un maximum de principes agroécologiques à même la constitution de ces fermes. Généralement, elles négligent les principes promouvant la diversité de culture, l'intégrité du sol, les synergies biologiques, l'agrobiodiversité et les niches écologiques, la paysannerie des pratiques agricoles et la diversité des savoirs. Une attention bien particulière à ces principes devra alors inévitablement être portée.

Ainsi, si en raison d'une impossibilité physique d'intégrer les pratiques d'agroécologie plein sol sur un territoire (exemple : dans une mégapole), les collectivités qui feront le choix d'implanter des fermes verticales pour répondre aux défis alimentaires de manière systémique et durable devront se référer aux recommandations suivantes :

- ❖ S'engager à intégrer un maximum de principes agroécologiques dans chacune des étapes d'implantation. Entre autres, il faudra veiller à ce qu'elles soient développées en réseau, par et pour les communautés locales, en circuits-courts, dans une économie circulaire afin de s'insérer dans un mouvement social indispensable au passage vers une agriculture durable;
- ❖ Maximiser les processus symbiotiques en écartant la stérilité des milieux afin de ne pas compromettre la résilience des cultures;

- ❖ Exclure totalement l'usage d'intrants de synthèse et miser exclusivement sur les principes de bioaponie, d'aquaponie ou de culture sur terreau;
- ❖ Produire des aliments de saisons et d'origines locales et/ou ancestrales;
- ❖ Cibler, en amont du projet, les potentielles sources de circularité environnantes pour limiter au maximum la dépendance aux intrants;
- ❖ Favoriser leur implantation multiple mais à petite échelle dans des bâtiments existants et dans des milieux urbains n'ayant pas accès à suffisamment de superficies pouvant être cultivées par l'entremise de modes agroécologiques horizontaux;
- ❖ Réaliser des analyses de cycles de vie pour l'ensemble des matériaux nécessaires à leurs fonctionnements afin de diminuer leurs impacts en considérant toutes leurs phases de vie;
- ❖ Limiter au maximum l'usage de matériaux électroniques et pétro-sourcés en raison de leurs forts impacts socio-écologiques;
- ❖ Inclure le plus de procédés naturels et empreints des *lowtech* que possibles, tout en étant adaptés aux besoins et réalités du milieu d'accueil pour diminuer au maximum la dépendance aux technologies coûteuses et polluantes affectant l'abordabilité des aliments;
- ❖ Miser sur des systèmes d'énergies passives pour leurs fonctionnements et éviter l'approvisionnement via l'exploitation d'énergie fossiles;
- ❖ Prioriser de servir la résilience alimentaire par l'établissement de cultures ne pouvant être produites à l'extérieur telles que la culture d'insecte, de levures, de cultures bactériennes, etc. La production d'insecte pourrait notamment être une alternative à la surconsommation de viande, permettant donc de bonifier significativement la contribution des fermes verticales à la réduction des coûts environnementaux associés à la culture du bétail;
- ❖ Prioriser une production locale et saisonnière, de subsistance et empreinte des savoirs paysans;
- ❖ S'intégrer dans l'écosystème social local et veiller à ne pas faire ombre aux autres initiatives alimentaires en agissant plutôt en complémentarité avec celles-ci;

- ❖ Valoriser une approche intégrée en éducation alimentaire adaptée aux besoins locaux afin de minimiser les impacts de l'artificialisation des procédés agricoles sur le rapport à la nourriture;
- ❖ Œuvrer avec les institutions scolaires pour développer des formations accessibles aux communautés afin qu'elles développent une expertise locale, résiliente et autonome;
- ❖ S'impliquer avec des organismes environnementaux locaux pour assurer la restauration de milieux naturels épargnés de la destruction grâce aux productions des fermes verticales;
- ❖ Veiller à ce qu'elles représentent des milieux de rencontre et d'échanges conviviaux et éducatifs pour les communautés, en mettant à l'avant-scène une valorisation du métier d'agriculteur;

7.2. Agroécologie

Maintenant, de par son approche intégrée, l'agroécologie est davantage adaptée pour assurer une réelle transition agricole durable en plus de pouvoir potentiellement induire des transformations de paradigmes plus larges dans d'autres sphères de la société. Effectivement, le contexte socio-économique actuel, reposant sur un système capitaliste, présente des obstacles majeurs aux déploiements de solutions aux approches holistiques. L'agroécologie pourrait toutefois être le vecteur, le propulseur permettant de matérialiser un réel changement de paradigme, tout secteur d'activité confondu. Pour y parvenir, l'ensemble des acteurs du système alimentaire de la fourche à la fourchette devront miser sur les leviers suivants :

- ❖ Multiplier les fermes agroécologiques de petite taille conçues par et pour les communautés afin d'augmenter la résilience des unités locales de production;
- ❖ Changer le niveau trophique de notre consommation d'aliments en réduisant drastiquement la production de viande;
- ❖ Remorceler le territoire afin de permettre cette diversification de production et éviter le gonflement des prix affectant l'accessibilité des terres;
- ❖ Créer des réseaux locaux et régionaux basés sur des initiatives d'économie sociale et solidaire regroupant tous les types d'acteurs du système alimentaire. Ces réseaux regrouperaient l'ensemble des procédés de production, de transformation et de mise en marché et auraient notamment des points de chutes répartis sur le territoire afin de créer une résilience intra et interrégionale;
- ❖ Orienter les investissements pour des fins locales et ensuite redistribuer les surplus vers des marchés régionaux ou continentaux.

- ❖ Implanter des installations complémentaires à la production pour encourager et faciliter les synergies locales. Par exemple, favoriser l'intégration de procédés de transformation des aliments à même le territoire de transformation ainsi que développer et multiplier les marchés où aura lieu la mise en vente.
- ❖ Inciter la participation des consommateurs à la transition. Les pressions associées à la responsabilité d'apporter des changements si significatifs ne doivent pas reposer que sur les producteurs et les décideurs. Une responsabilisation citoyenne permettra d'endosser plus équitablement et efficacement les efforts à déployer. Les paniers de fermes de famille sont une bonne avenue mais il est possible de faire plus.
- ❖ Mettre en place des programmes de formations, de conseils et d'accompagnement s'adressant à la fois aux novices en la matière, à ceux qui souhaitent convertir leurs fermes conventionnelles et ceux qui souhaitent protéger et consolider leurs acquis;
- ❖ Créer des références technico économiques grâce à l'établissement de recueil de fermes modèles;
- ❖ Investir dans la recherche permettant de poursuivre le développement des méthodes et permettre une réappropriation des cultures ancestrales locales oubliées;
- ❖ Mettre des sites d'expérimentation de pratiques à disposition des porteurs de projets;
- ❖ Créer des incitatifs économiques permettant de propulser et soutenir les porteurs de projets. Ces incitatifs pourraient être par exemple, des subventions incrémentales et proportionnelles aux phases de développement des fermes, des congés de taxes, des tarifs préférentiels, un salaire plancher pour tous les acteurs, des bourses d'études et de formations, etc.
- ❖ Offrir des modes de financement innovants, coopératifs et participatifs;
- ❖ Éduquer le grand public à la contribution réelle de l'agroécologie pour transformer les perceptions entourant le pouvoir d'achat, c'est-à-dire, propager l'idée qu'au marché, on paye la résultante d'une production fermière. On finance une façon de produire qui supporte la biodiversité, réhabilite les sols et capte le carbone. Ces apports vitaux doivent être reconnus financièrement et culturellement dans notre relation à la production alimentaire.
- ❖ Reconnaître le droit aux terres et le droit à l'alimentation pour contrer la gestion spéculative et les injustices qui en découlent.

CONCLUSION

Le cheminement réflexif effectué tout au long de cet ouvrage a permis de poser un regard éclairé quant à la réelle contribution des fermes verticales et de l'agroécologie à titre de solutions durables à la problématique d'insécurité alimentaire mondiale. Le modèle agricole dominant actuel, soit l'agriculture industrielle, repose sur des méthodes non durables et basées sur une dynamique linéaire d'exploitation de ressources non renouvelables. Il importe alors de comprendre quels sont les défis alimentaires résultants des modes de cultures afin d'intégrer la meilleure approche dans la recherche de solution.

La sécurité alimentaire mondiale est compromise par la nécessité de faire face à la demande alimentaire croissante, d'éradiquer la faim et l'insécurité alimentaire, d'améliorer la durabilité de l'usage des ressources, de s'adapter aux changements climatiques et d'assurer leur mitigation. À la lecture de ces défis d'envergure ciblés par la FAO, un changement de paradigme s'impose et de grandes tangentes tendent heureusement dans cette direction. Plusieurs solutions découlant de ces tangentes s'orientent vers deux pôles technologiques distincts, soient les *hightech* ou les *lowtech*. Dans le premier cas, on imagine avoir recours à de nombreuses innovations scientifiques résultant en un déploiement de technologies complexes visant l'optimisation d'un maximum de processus agricoles. Dans l'autre cas, on vise une autonomie de production par l'entremise de l'intégration de procédés géobiochimiques naturellement retrouvés dans des écosystèmes sains et équilibrés.

De ces tangentes ressortent respectivement les fermes verticales et l'agroécologie. Fervent défenseur des fermes verticales, Dickson Despommier avance qu'elles ont le potentiel d'offrir une solution crédible pour faire face aux défis alimentaires de demain. Reposant sur des pratiques de culture hors-sol telles que l'hydroponie et l'aquaponie, les principaux bénéfices promis sont l'augmentation de l'efficacité agricole, la résistance aux aléas climatiques et la conservation des écosystèmes. Bien qu'il s'agisse d'un modèle encore très peu développé, quelques exemples servent de cadre référent permettant d'imaginer ce à quoi pourrait avoir l'air le monde advenant l'expansion de ce phénomène.

D'autres penseurs tels que Miguel Altieri quant à eux, croient plutôt que c'est sur l'agroécologie qu'il faut miser pour répondre à nos besoins alimentaires en prenant soin de contrer les problématiques environnementales de l'agriculture actuelle. Cette approche comprend l'adaptation des procédés et des fonctions agroécosystémiques propres aux réalités environnementales et sociales du territoire d'implantation. La synergie des composantes des systèmes agricoles est aussi une des caractéristiques principales de l'agroécologie. Elle promet l'atteinte d'un équilibre symbiotique entre les besoins humains et les capacités de support des milieux naturels tout en adressant les questions relatives à la justice sociale.

Ainsi, l'objet de cet essai partait de la problématique d'insécurité alimentaire mondiale. La grande question structurante était d'évaluer si d'une part, ces options peuvent parvenir à répondre aux défis alimentaires de

la FAO et d'autre part, s'ils peuvent s'inscrire dans une perspective systémique de développement durable. Considérant que le modèle de développement que nous connaissons actuellement repose sur un mode de résolution de problème permettant difficilement de répondre aux causes profondes, il importe de se questionner sur la contribution systémique des solutions.

Une analyse critique effectuée en deux étapes a permis de répondre aux deux volets de la question structurante. La première étape consistait d'abord à déterminer si les fermes verticales et l'agroécologie peuvent répondre aux symptômes visibles de la problématique. Ces symptômes font référence à la description des défis alimentaires ciblés par la FAO. Afin d'éviter de reproduire les mêmes modes de résolution de problème du modèle de développement actuel, la deuxième étape avait pour objectif de confronter les conclusions de la première analyse au regard des différents niveaux d'approche systémique. Le niveau le plus profond de l'analyse systémique, ciblait que les modèles mentaux, sous-tendant la problématique, reposent sur le précepte que l'accumulation de richesses, que permettent les progrès techniques engendrés par le capitalisme, procure une sensation de sécurité et donc de bien-être. Dans le modèle actuel, ce besoin est comblé par la notion du « surplus ». Cette base analytique expliquerait ensuite qu'au nom du progrès, le système capitaliste repose sur la consommation et les inégalités sociales qui elles, ont engendré la détérioration des écosystèmes et la répartition inéquitable des productions, résultant ainsi en une insécurité alimentaire mondiale.

Cet exercice nous a permis de répondre à l'objectif principal, soit de démontrer la capacité des deux options face aux défis alimentaires de la FAO ainsi que d'évaluer leur niveau de réponse selon une perspective systémique de développement durable. Il a notamment été conclu que le type de fermes verticales étudié dans le cadre de ce travail, les *Farmscrapers*, n'est pas en mesure de répondre durablement aux défis alimentaires. D'autres modèles auraient néanmoins pu démontrer d'autres résultats. Les investissements colossaux que nécessiterait l'érection de *Farmscrapers* ne permettraient pas aux populations qui souffrent de la faim et dont les récoltes sont menacées par les changements climatiques, d'assurer leur sécurité alimentaire. Contrairement à ce que Despommier soutient, la contribution hypothétique des fermes verticales quant à l'amélioration de la durabilité des ressources naturelles serait aussi réellement trop minime. Dès lors, les impacts financiers et écologiques de l'artificialisation qu'exige ce type de culture hors-sol ne peuvent être justifiés. En sommes, telles que constituées actuellement, elles s'insèrent dans la même logique que l'agriculture conventionnelle, avec pour seule nuance de changer les intrants et de nécessiter moins d'espace. Les couches systémiques profondes ne sont alors pas atteintes par les fermes verticales. Elles répondent au besoin humain de sécurité de la même manière qu'avec le modèle posant problème, soit avec la notion de « surplus » et même potentiellement avec la même avidité menant vers un accroissement de profit à outrance.

Il a aussi été possible de conclure que l'agroécologie répond mieux et plus durablement aux défis alimentaires. Son approche intègre des procédés holistiques englobant l'ensemble des composantes d'un

agroécosystème, ce qui en fait une alternative naturellement adaptée aux causes systémiques de la problématique. En effet, on crée un réseau puissant, dynamique et interconnecté pour répondre aux problèmes du vivant en incarnant la même symbiotique que le vivant. Le système de valeur qui y est défendu propose la frugalité et la notion du « suffisant » plutôt que du « surplus », représentant une transformation dans la manière de répondre au besoin humain de sécurité. Elle permet d'autant plus l'avènement d'initiatives base sur un modèle d'économie solidaire assurant le dynamisme social la viabilité économique des communautés locales.

En fonction des réponses qui ont émergé, des recommandations s'arrimant aux résultats de l'analyse ont été formulées. La principale recommandation propose d'avoir recours de manière ponctuelle et ciblée aux fermes verticales ainsi que de déployer massivement des systèmes agroécologiques. Or, des pistes de solutions ont été identifiées afin d'accompagner les acteurs agricoles dans l'élaboration de projets visant la recommandation principale. Ces pistes de solutions visent un avancement vers une transition agricole écologiquement responsable, économiquement viable et socialement dynamisante.

Des questions demeurent toutefois. Est-ce qu'une telle transition devra attendre la fin du capitalisme pour connaître un réel essor? L'agriculture ne pourrait-elle devenir le vecteur d'une transition plus large permettant à l'humanité de s'inscrire dans un mode de développement permacole? Après avoir opposé le *hightech* et le *lowtech* dans l'analyse des deux options étudiées, pourrions-nous extrapoler les résultats de manière plus globale? Les *hightech* s'inscriront-elles toujours dans une logique réactive ne pouvant jamais répondre de manière systémique aux problématiques environnementales? Est-ce que le développement des *lowtech* serait la voie à supporter pour une réelle transition?

Encore à l'image des résultats de l'analyse réalisée dans ce travail, les réponses ne seront pas simples ni unilatérales. Les tenants d'un changement de paradigme permettant de faire transgresser le modèle de développement actuel vers un modèle réellement durable seront vraisemblablement multiples et répondront à différents niveaux systémiques. Dans cette pluralité d'approches, une conception holistique d'un développement humain équitable permettant une relation symbiotique avec le monde naturel devra impérativement devenir central et prioritaire, tout secteur d'activités confondus. La pensée systémique révèle toutefois que les leviers d'actions les plus puissants sont ceux auxquels le système résistera le plus à changer. Autrement dit, plus les solutions viseront des couches profondes des problématiques, plus elles auront d'effet mais plus elles seront complexe à mettre en action. Ainsi, pour faire face aux résistances du système aux changements de paradigme, il importe que les individus qui le composent incarnent pas à pas cette conception du monde tant sur le plan collectif que personnel. La multiplication d'individus et collectivités ayant intégré le caractère complexe des relations entre les éléments ne pourra qu'accélérer et propulser véritablement la transition.

RÉFÉRENCES

- Aguiton, C. et Cabioc'h, H. (2010). Quand la justice climatique remet en cause la modernité occidentale. *Mouvements*, 63(3), 64-70.
- Al-Kodmany, K. (2018). The vertical farm: a review of developments and implications for the vertical city. *Buildings*, 8(2), 24.
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A. et Lana, M. A. (2015). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(3), 869-890.
- Altieri, M. A. et Toledo, V. M. (2011). The agroecological revolution in latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *Journal of Peasant Studies*, 38(3), 587-612.
- Altieri, M., Nicholls, C. et Montalba, R. (2017). Technological approaches to sustainable agriculture at a crossroads: an agroecological perspective. *Sustainability*, 9(3), 349.
- Americana. (2019). Qu'est-ce que le low-Tech? Repéré à <https://americana.org/fr/conferences/quest-ce-que-le-low-tech/>
- Arnold, R. D. et Wade, J. P. (2015). A definition of systems thinking: a systems approach. *Procedia Computer Science*, 44, 669-678.
- Asaduzzaman, M et Zainal, A. (2016). *Controlled environment agriculture: production of specialty crops providing human health benefits through hydroponics*. New York, NY : Nova Science Publishers, Inc.
- B. Jolin, Z. (2015). *Le développement de l'Agroécologie au Québec: Redéfinir les paradigmes agricoles* (Essai de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec). Repéré à https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/8162/Jolin_Zachari_MEnv_2015.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Bagaoui, R. (2006). La systémique, penser et agir dans la complexité, de Gérard Donnadiou et Michel Karsky (2002), Éditions Liaisons, Paris. *Nouvelles perspectives en sciences sociales*, 1(2), 219.
- Baillargeon, N. et Beisinger, R. (2017). *À la table des philosophes*. Québec : Flammarion.
- Banque mondiale. (2016). High and dry: climate change, water, and the economy. Repéré à <http://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/high-and-dry-climate-change-water-and-the-economy>
- Beaudoin, D. (2018, 8 décembre). Toujours plus d'affamés dans le monde en 2019. *Radio-Canada*. Repéré à <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1139163/faim-malnutrition-monde-famine-yemen-sud-soudan-nigeria>
- Biraben, J.-N. (2003). L'évolution du nombre des hommes. *Population & Sociétés*, 5(394), 2-5.
- Blogowski, A. (2020). Pesticides. Dans *Encyclopædia Universalis*. Repéré à <https://www.universalis.fr/encyclopedie/pesticides/>
- Bommert, W. et Landzettel, M. (2019). *La fin de l'alimentation*. France : Guy Saint-Jean Editeur.
- Bricas, N. (2017). *Villes et alimentation, quels enjeux?* Communication présentée au Politiques alimentaires urbaines, Montpellier, France (p. 211). Repéré à <https://agritrop.cirad.fr/584991/>

- Brooklyn Grange Farm. (s.d). About Brooklyn Grange. *Brooklyn Grange*. Repéré à <https://www.brooklyngrangefarm.com/about-brooklyn-grange-1>
- Cavelier, J. (2017, 14 octobre). La qualité nutritionnelle, grande absente des débats sur l'alimentation. *Le Monde*. Repéré à https://www.lemonde.fr/nutrition/article/2017/10/14/la-qualite-nutritionnelle-grande-absente-des-debats-sur-l-alimentation_5200865_1655397.html
- CMED. (1987). Rapport Brundtland. Repéré à https://www.diplomatie.gouv.fr/sites/odyssee-developpement-durable/files/5/rapport_brundtland.pdf
- Compère, P. (2012). La ferme verticale : image paroxystique de mondes agricoles en mutation. Repéré à <https://www.agrobiosciences.org/archives-114/agriculture-monde-rural-et-societe/nos-selections/lu-vu-entendu/article/la-ferme-verticale-image-paroxystique-de-mondes-agricoles-en-mutation>
- Dagorn, G. (2016, 12 octobre). Qualité nutritive des aliments : des inquiétudes et des exagérations. *Le Monde*. Repéré à https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2016/10/12/qualite-nutritive-des-aliments-des-inquietudes-et-des-exagerations_5012617_4355770.html
- Daniel, M.-F. (2015). Le développement d'une pensée critique à l'école. Dans *Les fondements de l'éducation : perspectives critiques* (Multimondes, p. 459). Montréal, Québec.
- Descartes, R. (1637). *Discours de la méthode* (2011^e éd.). France : Les Échos du Maquis. Repéré à <https://philosophie.cegeptr.qc.ca/wp-content/documents/Discours-de-la-m%C3%A9thode.pdf>
- Despommier, D. (2009). The rise of vertical farms. *Scientific American*, 301(5), 80-87.
- Despommier, D. (2019). Vertical farms, building a viable indoor farming model for cities. *Field Actions Science Reports. The Journal of Field Actions*, (20), 68-73.
- Despommier, D. et Ellingsen, E. (2008). The vertical farm: the sky-scraper as vehicle for a sustainable urban agriculture. *CTBUH 8th World Congress 2008*. Repéré à <https://global.ctbuh.org/resources/papers/download/1305-the-vertical-farm-the-sky-scraper-as-vehicle-for-a-sustainable-urban-agriculture.pdf>
- Développement et paix. (2017). Analyse thématique : démystifier l'agroécologie, 12.
- Diderot, Denis. (1751). Encyclopédie de Diderot : agriculture. Repéré à <http://xn--encyclopdie-ibb.eu/index.php/physique/1151392036-agri-culture/1151392036>
- Ecochallenge. (2020). The Iceberg model. Repéré à <https://ecochallenge.org/iceberg-model/>
- El Bilali, H. (2019). Research on agro-food sustainability transitions: where are food security and nutrition? *Food Security*, 11(3), 559-577.
- FAO. (2014). *Food wastage footprint: full-cost accounting: final report*. Repéré à <http://www.fao.org/publications/card/en/c/5e7c4154-2b97-4ea5-83a7-be9604925a24/>
- FAO. (2017). *The future of food and agriculture: trends and challenges*.
- FAO. (2018a). *Les 10 éléments de l'agroécologie : guider la transition vers des systèmes alimentaires et agricoles durables*. Repéré à www.fao.org/3/i9037fr/I9037FR.pdf
- FAO. (2018b). *The future of food and agriculture 2018: alternative pathways to 2050*. Repéré à <http://www.fao.org/3/CA1553EN/ca1553en.pdf>

- FAO. (2020). Plateforme des connaissances sur l'agroécologie : les 10 éléments de l'agroécologie. Repéré à <http://www.fao.org/agroecology/knowledge/10-elements/fr/>
- FAO, Fonds international de développement agricole, OMS, Fonds des Nations Unies pour l'enfance et Programme alimentaire mondial. (2018). L'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde. Renforcer la résilience face aux changements climatiques pour la sécurité alimentaire et la nutrition, 218.
- FNH. (2018). Agriculture bio, permaculture, agroécologie... Quelles différences ? Repéré à <https://www.fondation-nature-homme.org/magazine/agriculture-bio-permaculture-agroecologie-queelles-differences>
- Fortier, J.-M. et Lortie, M.-C. (2019). *L'avenir est dans le champ : un projet de société en 12 fruits et légumes et les consièls du jardinier-maraîcher*. Montréal, Québec : La Presse.
- Gabrieli, A. (2019). *Manifeste pour le vivant*. Lévis, Québec : Gaïaa sources inc. Repéré à https://books.google.ca/books?id=sDe3DwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=fr&source=gbbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Gagné, C. (2011). Urbanisation et durabilité des systèmes alimentaires. Dans *Pour une alimentation durable* (p. 123 à 142). Editions Quæ. Repéré à <https://www.cairn.info/pour-une-alimentation-durable--9782759216703-page-123.htm?contenu=resume>
- Gardner, B. (2013). *Global food futures: feeding the world in 2050*. New York : Bloomsbury academic. Repéré à https://books.google.ca/books?id=naNLAQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=fr&source=gbbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Garfield, L. (2017). This \$40 million robotic plantscraper will feed over 5000 people per year. Repéré à <https://www.businessinsider.com/swedens-world-food-building-farm-offices-plantscraper-2017-11>
- Global Footprint Network. (2018). Past earth overshoot days. *Earth Overshoot Day*. Repéré à <https://www.overshootday.org/newsroom/past-earth-overshoot-days/>
- Goldstein, H. (2018). The green promise of vertical farms. *IEEE Spectrum*, 55(6), 50-55.
- Goodman, M. (1997). System thinking: what, why, when, where and how. *Pegasus communications*, 8(2), 6-7.
- Groleau, M. (2016, 27 septembre). Achat de Monsanto par Bayer. *La Presse+*. Repéré à http://plus.lapresse.ca/screens/84900a9e-b730-4438-9a4f-73079777f4f7__7C__0.html
- Halwart, M. et Modadugu, V. G. (2004). *Culture of fish in rice fields*. Repéré à <http://www.fao.org/3/a-a0823e.pdf>
- Halweil, B. (2007). Still no free lunch: nutrient levels in U.S. food supply eroded by pursuit of high yields. *The Organic Center*, 48.
- Harari, Y. N. (2015). *Sapiens : une brève histoire de l'humanité* (Albin Michel). Paris.
- Hébert, M.-Y. (2017, 23 septembre). Les fermes verticales, l'agriculture de l'avenir? *Radio-Canada*. Repéré à <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1057425/fermes-verticales-agriculture-urbaine-newark-new-york-fruits-legumes-autosuffisance-alimentaire-environnement-energie-eau>
- Holmgren, D. (2013). *Essence of permaculture*. Repéré à <https://holmgren.com.au/essence-of-permaculture-free/>

- Houde-Tremblay, É. (2019). Transformer le système alimentaire avec l'agroécologie : institutionnalisation, urbanisation et défis. *Institut EDS*, (17). Repéré à <https://www.ihqeds.ulaval.ca/publications/linterdisciplinaire/archives/news/transformer-le-systeme-alimentaire-avec-l-agroecologie-institutionnalisation-urbanisation-et-defis/>
- IATP. (2015). Scaling up agroecology: toward the realization of the right to food. Repéré à https://iatp.org/sites/default/files/2013_10_09_ScalingUpAgroecology_SV_0.pdf
- IPCC. (2018). *Global warming of 1.5°C: summary for policymakers* ([Rapport d'impacts]). Suisse. Repéré à <http://www.ipcc.ch/report/sr15/>
- Kant, E. (1781). *Critique de la raison pure*. Allemagne : PUF.
- Khokhar, T. (2017). 70 % de l'eau douce est utilisée pour l'agriculture. Repéré à <https://blogs.worldbank.org/fr/opendata/graphique-70-de-l-eau-douce-est-utilisee-pour-l-agriculture>
- Lagrange, C. (2016). Une ferme sans sol, sans soleil : l'agriculture du futur ? Repéré à https://www.lepoint.fr/innovation/une-ferme-sans-sol-sans-soleil-l-agriculture-du-futur-23-10-2016-2077946_1928.php
- Lakhari, I. A., Gao, J., Syed, T. N., Chandio, F. A., Tunio, M. H., Ahmad, F. et Solangi, K. A. (2020). Overview of the aeroponic agriculture: an emerging technology for global food security. *International Journal of Agricultural & Biological Engineering*, 13(1), 1-10.
- Landry, C. et Boivin, C. (2011). *Irrigation : taux d'utilisation de l'azote des engrais et pertes de nitrates* ([Rapport de colloque sur la pomme de terre 2011]) (p. 21). Québec. Repéré à <https://www.agrireseau.net/pdt/documents/Landry.pdf>
- Lanz, B., Dietz, S. et Swanson, T. (2018). The Expansion of modern agriculture and global biodiversity decline: an Integrated assessment. *Ecological Economics*, 144, 260-277.
- Lim, V., Funk, M., Marcenaro, L., Regazzoni, C. et Rauterberg, M. (2017). Designing for action: An evaluation of Social Recipes in reducing food waste. *International Journal of Human-Computer Studies*, 100, 18-32.
- Lortie, M.-C. (2019, 17 août). Les engrais chimiques et la disparition de nos sols. *La Presse*. Repéré à <https://www.lapresse.ca/affaires/2019/08/16/01-5237689-les-engrais-chimiques-et-la-disparition-de-nos-sols.php>
- Lu, J. et Li, X. (2006). Review of rice-fish-farming systems in China: one of the globally important ingenious agricultural heritage systems. *Aquaculture*, 260(1), 106-113.
- Lucchese, V. (2017). Les fermes verticales ou l'utopie d'une écologie hors sol. Repéré à <https://usbeketrica.com/article/les-fermes-verticales-ou-l-utopie-d-une-ecologie-hors-sol>
- MAPAQ. (2019). Le secteur agricole au Québec: quelques grandes tendances à la lumière des quatre derniers recensement de l'agriculture. *Bioclips: Actualité bioalimentaire*, 27(28), 2.
- Marks, P. (2014). Vertical farms sprouting all over the world. Repéré à <https://www.newscientist.com/article/mg22129524-100-vertical-farms-sprouting-all-over-the-world/>
- Marsden, C. (2017). Mises en oeuvre des pratiques de l'agroécologie : cultures associées. *FUN-MOOC*. Repéré à <http://www.fun-mooc.fr/courses/course-v1:Agreenium+66001+session05/about>

- Meadows, D. (1999). *Leverage points: places to intervene in a system*. Hartland, VT : The Sustainability Institute. Repéré à http://donellameadows.org/wp-content/userfiles/Leverage_Points.pdf
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J. et Behrens, W. W. (1972). *The limits to growth: A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. New York : Universe Books.
- Ménard, É. (2013). *Gaspillage alimentaire et insécurité alimentaire; pistes de solutions pour lutter simultanément contre deux problèmes majeurs* (Essai, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec). Repéré à https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais_2013/Menard_E__2013-01-21__01.pdf
- Miguelez, R. (1989). Présentation. Anthropologie et méthodologie. *Anthropologie et Sociétés*, 13(3), 5.
- Neiger, J. (2017). *La permaculture : un plan d'action optimiste pour notre avenir*. États-Unis : Marabout.
- OCDE. (2016). État de santé : espérance de vie à la naissance. Repéré à <http://data.oecd.org/fr/healthstat/esperance-de-vie-a-la-naissance.htm>
- Olivier, M. J. (2017). *Chimie de l'environnement : hydrosphère, atmosphère, lithosphère, technosphère* (9e édition). Lab Éditions. Repéré à <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat04883a&AN=she.i9782981475893&lang=fr&site=eds-live>.
- OMS. (2017). Malnutrition. Repéré à <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition>
- OMS. (2019). Faits marquants sur le vieillissement. Repéré à <http://www.who.int/ageing/about/facts/fr/>
- ONU. (2015). L'utilisation d'engrais minéraux dépassera 200 millions de tonnes en 2018. Repéré à <https://www.fao.org/news/story/fr/item/277668/icode/>
- ONU. (2019). La population. Repéré à <https://www.un.org/fr/sections/issues-depth/population/index.html>
- ONU. (s. d.). Objectif 2 : faim «zéro». *Développement durable*. Repéré à <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/hunger/>
- Otzelberger, A. (2014). *Tackling the double injustice of climate change and gender inequality* ([Rapport de CARE International]) (p. 44). Repéré à https://careclimatechange.org/wp-content/uploads/2019/06/Double_Injustice.pdf
- Pattillo, D. A. (2017). An overview of aquaponic systems: hydroponic components. *NCRAC*, (123). Repéré à https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1018&context=ncrac_techbulletins
- Pellegris, A. (2018). Transformations agricoles et agroalimentaires : entre écologie et capitalisme. *Revue de la régulation*, (23), 8.
- Pison, G. (2011). Tous les pays du monde. *Population & Sociétés*, (480), 8.
- Plantagon. (s.d). Plantagon. *Plantagon*. Repéré à <https://www.plantagon.com/>
- Ponisio, L. C. et Ehrlich, P. R. (2016). Diversification: Yield and a new agricultural revolution: problems and prospects. *Sustainability*, 8(11), 1118.
- Portail Bio Québec. (2020). Nombre d'entreprises actuellement précertifiées et certifiées par région. Repéré à <https://portailbioquebec.info/entreprises-produits-certifies-ou-activites-precertification>

- Prades Villanova, M. (2013). *Vertical farm façade: First approach to the energetic savings applied to the seagram building in New York* (Thèse, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelone, Espagne). Repéré à [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/23367/Vertical%20Farm%20Fa%C3%A7ade%20\(Marc%20Prades\).pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/23367/Vertical%20Farm%20Fa%C3%A7ade%20(Marc%20Prades).pdf)
- Ray, L. (2017). Efficient water utilization through gravity-fed drip irrigation for hill region. *Conservation Agriculture for Advancing Food Security in Changing Climate*, 2(575-580), 7.
- Recyc-Québec. (2016). Gaspillage alimentaire. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/citoyens/mieux-consommer/gaspillage-alimentaire>
- Reeves, F. (2017). Verdir nos cités: le témoignage d'un cardiologue. *Observatoire de la prévention*. Repéré à <https://observatoireprevention.org/author/dr-francois-reeves/>
- Ricart, Y. (2016). Quels choix technologiques pour une société durable?, (Hors-série), 58.
- Rouger, M. (2011). Pierre Rabhi: défricheur de l'agroécologie. Repéré à https://www.histoiresordinaires.fr/Pierre-Rabhi-defricheur-de-l-agroecologie_a160.html
- Schneider, F. (2006). Sur l'importance de la décroissance des capacités de production et de consommation dans le Nord global pour éviter l'effet rebond. *Research and Degrowth*, 197-21.
- Scoop. it! (s.d). Hydroponics and Aeroponics. Repéré à <https://www.scoop.it/topic/cannabis-news-by-w33d-addict>
- Seaman, D. (2010). The vertical farm: feeding ourselves and the world in the 21st century. *Booklist*, 107(3), 26.
- Secrétariat de la CDB. (2008). *Biodiversité et agriculture: Protéger la biodiversité et assurer la sécurité alimentaire*. Auteur.
- Secrétariat de la CDB. (2010). *Perspectives mondiales de la diversité biologique* ([Rapport analytique]). Repéré à <https://www.cbd.int/doc/meetings/cop/cop-10/official/cop-10-08-add1-fr.pdf>
- Shubha, Mukherjee, A., Dubey, A. et Koley, T. (2019). Bioponics: a new way to grow soilless vegetable cultivation. *Agriculture & food*, 1(12). Repéré à https://www.researchgate.net/publication/337648503_Bioponics-A_new_way_to_grow_soilless_vegetable_cultivation
- Smith, H. G. (2015). Vertical farming series part 1: Engineering a vertical farm. Repéré à <https://search-proquest-com.ezproxy.usherbrooke.ca/agricenvironm/docview/1687713398/D8A6317C61CA488CPQ/5?acountid=13835>
- Soussana, J.-F., Fereres, E., Long, S. P., Mohren, F. G., Pandya-Lorch, R., Peltonen-Sainio, P., ... Braun, J. von. (2012). A European science plan to sustainably increase food security under climate change. *Global Change Biology*, 18(11), 3269-3271.
- Stassart, P., Baret, P., Grégoire, J.-C., Hance, T., Marc, M., Reheul, D., ... Visser, M. (2012). L'agroécologie : trajectoire et potentiel pour une transition vers des systèmes alimentaires durables. Dans *Agroécologie entre pratiques et sciences sociales* (Éducagri). Dijon. Repéré à https://www.researchgate.net/publication/277218705_L'agroecologie_trajectoire_et_potentiel_Pour_une_transition_vers_des_systemes_alimentaires_durables

- Suhl, J., Oppedijk, B., Baganz, D., Kloas, W., Schmidt, U. et van Duijn, B. (2019). Oxygen consumption in recirculating nutrient film technique in aquaponics. *Scientia Horticulturae*, 255, 281-291.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J. et Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), 20260-20264.
- Tomich, T. P., Brodt, S., Ferris, H., Galt, R., Horwath, W. R., Kebreab, E., ... Yang, L. (2011). Agroecology: A Review from a Global-Change Perspective. *Annual Review of Environment and Resources*, 36(1), 193-222. doi:10.1146/annurev-environ-012110-121302
- Ungvarsky, J. (2019). Vertical farming. Dans *Salem Press Encyclopedia of Science*. Salem Press.
- Vallin, J. et Meslé, F. (2010). Espérance de vie: peut-on gagner trois mois par an indéfiniment? Repéré à https://www.ined.fr/fichier/s_rubrique/19141/pes473.fr.pdf
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D. et David, C. (2009). Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development (EDP Sciences)*, 29(4), 503-515. doi:10.1051/agro/2009004
- World Resources Institute. (2018). Creating sustainable food future. Repéré à https://wriorg.s3.amazonaws.com/s3fs-public/creating-sustainable-food-future_2.pdf
- WRI. (2019). Scope of the Challenge and Menu of Possible Solutions (Synthesis) | WRI. Repéré à <https://wrr-food.wri.org/scope-challenge-and-menu-possible-solutions-synthesis>
- Xie, J., Hu, L., Tang, J., Wu, X., Li, N., Yuan, Y., ... Chen, X. (2011). Ecological mechanisms underlying the sustainability of the agricultural heritage rice-fish coculture system. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), E1381-E1387. doi:10.1073/pnas.1111043108
- Ziegler, J. (2002). *Les Nouveaux maîtres du monde: Et ceux qui leur résistent*. Fayard.
- Ziegler, J. (2011). *Destruction massive : géopolitique de la faim*. Seuil.